

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MOVILIDAD AUTÓNOMO PARA UN CARRO DE
MERCADO ESTÁNDAR**

DIEGO ANDRÉS GARAVITO VELANDIA

CÓDIGO: 1110338

GUILLERMO ANDRÉS VARGAS PARRA

CÓDIGO: 1111408

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ, D.C.

2017

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MOVILIDAD DE AUTÓNOMO PARA UN CARRO
DE MERCADO ESTÁNDAR**

DIEGO ANDRÉS GARAVITO VELANDIA

CÓDIGO: 1110338

GUILLERMO ANDRÉS VARGAS PARRA

CÓDIGO: 1111408

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO DE LA
UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**

DIRECTOR:

Ing. Néstor Fernando Penagos

Ingeniero electrónico.

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

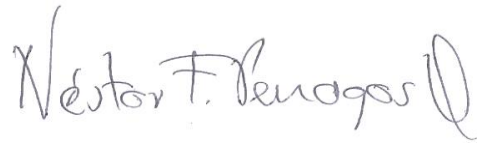
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ, D.C.

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez realizada la revisión metodológica y técnica del documento final de proyecto de grado, diseño e implementación de un sistema de movilidad de autónomo para un carro de mercado estándar, doy constancia de que los estudiantes Diego Andrés Garavito Velandia y Guillermo Andrés Vargas Parra han cumplido con los objetivos propuestos como requisito de grado para el título de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia.



Ingeniero Néstor Penagos

DEDICATORIA

Guillermo Andrés Vargas Parra.

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr nuestros objetivos.

Recordando todos esos momentos de estrés que tuvimos en la realización del proyecto y toda la paciencia que le pedimos a Dios para continuar y no morir en el intento.

A mis padres, mi hermana y mi novia por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo y por querer siempre lo mejor para mí.

Pero en especial quiero dedicar este logro a mis abuelos maternos que en vida soñaban y bromeaban con la idea de que fuera ingeniero, aunque no me puedan ver realizando mis metas porque Dios así lo quiso, sé que estarán felices y orgullosos de la persona en la que me he convertido, hoy les agradezco más que nunca todos esos consejos y palabras de aliento.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Diego Andrés Garavito Velandia.

A Dios por darme la fuerza y la salud para poder culminar este proceso. A todas aquellas personas que me apoyaron desde un principio y me dieron el impulso y la motivación para seguir adelante a pesar de las dificultades.

A lo más importante que tengo en mi vida, mi madre, mi padre y mi hermano, por estar siempre a mi lado dándome apoyo y los mejores consejos para hacer de mí, una mejor persona y un mejor profesional, por enseñarme a no rendirme y brindarme siempre su cariño y amor, por todo su esfuerzo para darme lo mejor, pero en especial quiero dedicar este proyecto a mi abuela Josefina Naranjo que por cosas de la vida no pudo estar presente en este momento, pero estoy convencido que donde está ahora, está feliz y orgullosa de mí por convertirme en un profesional.

A todos ellos muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la Universidad Piloto de Colombia por permitirnos ser parte de ella y a los profesores por compartir su conocimiento con nosotros.

A nuestro asesor de proyecto de grado el ingeniero Néstor Penagos por habernos enseñado y guiado en todo este proceso y tener la mejor disposición, para que todo finalizara de la mejor de la manera.

A nuestros compañeros de clase y de universidad por permitirnos disfrutar grandes momentos a través de este tiempo.

Y de la manera más sincera y especial a nuestros padres y hermanos por enseñarnos que con esfuerzo, trabajo y constancia se pueden conseguir grandes cosas y apoyarnos en todo momento.

A todas las personas que nos ayudaron en el proyecto, dándonos sus opiniones y consejos. La suma de todo esto es lo que hoy nos permite tener estos resultados.

Nada de esto hubiera sido posible sin ellos y queremos agradecerles de la forma más sincera.

TABLA DE CONTENIDO

NOTA DE ACEPTACIÓN	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS	5
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	9
LISTA DE ANEXOS	11
1. GENERALIDADES	12
1.1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2.1 <i>Antecedentes del problema</i>	12
1.2.2 <i>Descripción del problema</i>	12
1.2.3 <i>Formulación del problema</i>	13
1.3 JUSTIFICACIÓN	13
1.4 OBJETIVOS.....	14
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	14
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	14
1.4.3 <i>Delimitación del proyecto</i>	14
1.5 MARCO REFERENCIAL	15
1.5.1 <i>Marco teórico</i>	15
1.5.1.1 Materiales en carros de mercado.....	15
1.5.1.1.1 Alambre	15
1.5.1.1.2 Plástico	15
1.5.1.1.3 Polipropileno	16
1.5.1.2 Clasificación de carros de mercar por tamaño	16
1.5.1.3 Motores	17
1.5.1.3.1 Servomotor	17
1.5.1.3.2 Motor Pasó a Paso	17
1.5.1.3.3 Motor Reductor	18
1.5.1.3.4 Motor de corriente directa	20
1.5.1.4 Tipos de Comunicación Inalámbrica	21
1.5.1.4.1 Infrarrojo	21
1.5.1.4.2 Bluetooth.....	21
1.5.1.4.3 Comunicaciones GSM.....	23
1.5.1.4.4 CDMA	24
1.5.1.4.5 WI FI	24
1.5.1.5 Sistemas Embebidos o Tarjetas de desarrollo	25
1.5.1.5.1 Raspberry Pi	25
1.5.1.5.2 Microcontrolador pic 18f4550.....	26
1.5.1.5.3 Microcontrolador MSP430F2274-EP	27
1.5.1.5.4 Atmega8a-pu atmel 8 bit 8k avr microcontroller.....	28
1.5.1.5.5 Atmega168a-pu atmel 8 bit 16k avr microcontroller.....	28
1.5.1.5.6 PcDuino	29
1.5.1.6 Sistemas de Potencia	29
1.5.1.6.1 Transistor.....	29
1.5.1.6.2 Transistor Bipolar.....	29
1.5.1.6.3 Transistor MOSFET	30
1.5.1.6.4 Puente H.....	30
1.5.1.6.5 Relé	31
1.5.1.7 Tipos de Sensores de Proximidad	32
1.5.1.7.1 Sensor Foto eléctrico	33
1.5.1.7.2 Sensor ultrasónico	33
1.5.1.7.3 Sensor capacitivo	34
1.5.1.7.4 Sensor inductivo	34
1.5.1.7.5 Sensor magnético.....	34

1.5.1.7.6	Sensor infrarrojo	35
1.5.1.8	Entornos de programación para desarrollar apps	35
1.5.1.8.1	MIT App inventor	35
1.5.1.8.2	Basic 4 Android.....	35
1.5.1.8.3	Android Studio	36
1.5.2	Estado del arte	36
1.6	DISEÑO METODOLÓGICO	54
1.6.1	DISEÑO METODOLOGICO PRELIMINAR	54
2.	DISEÑO MECANICO	56
2.1	CONDICIONES INICIALES.....	56
2.1.1	Selección del carro de mercado.....	56
2.1.2	Selección Tipo de Dirección.....	56
2.1.3	Calculo velocidad, potencia y torque.	57
2.1.4	Elección motores.....	66
2.1.5	Calculo de esfuerzo en el eje.....	67
2.1.6	Modificación mecánico del carro de mercar	71
3.	SISTEMA DE REFERENCIA MÓVIL	75
3.1	COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	76
	Wifi	76
	Sistema GPS (sistema de posicionamiento global)	77
	Bluetooth	77
3.2	APP CARRO DE MERCADO	77
4.	DISEÑO ELECTRÓNICO.....	82
4.1	SISTEMA DE SEGUIMIENTO	82
4.1.1	Selección de sensor.....	82
4.1.2.	Sensor ultrasónico HC-SR04	83
4.1.3.	Ubicación de sensores	84
4.2	UNIDAD LÓGICA	88
4.2.1	Selección de unidad lógica	88
4.2.2	Microcontrolador y sensor ultrasónico hc-sr04	88
4.2.3	Microcontrolador y bluetooth.....	90
4.2.3.1	Selección de Bluetooth	90
4.2.3.2	Modulo bluetooth HC-06	91
4.2.4	Microcontrolador y microcontrolador.....	93
4.3	PUENTE H	102
4.3.1	Puente H con transistores.....	104
5.	RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	110
6.	CONCLUSIONES.....	112
7.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	113
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
	ANEXO A. PROGRAMACION APP INVENTOR.....	120
	ANEXO B. DIAGRAMA DE FLUJO APP	121
	ANEXO C. MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA	122
	ANEXO D. VISTAS CARRO DE MERCADO SOLIDWORK	123
	ANEXO E. PROPIEDADES CARRO DE MERCADO SOLIDWORK.....	129
	ANEXO F. PRUEBA CURVATURA CARRO DE MERCADO SOLIDWORK.....	130

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Posicionamiento en robótica móvil.</i>	42
<i>Tabla 2. Selección de tipo de movimiento.</i>	57
<i>Tabla 3 Velocidades según edad y sexo.</i>	58
<i>Tabla 4 Ventajas y Desventajas de Cada Tipo de Motor.</i>	67
<i>Tabla 5. Comparativa de Sensores.</i>	82
<i>Tabla 6. Ubicación de sensores.</i>	85
<i>Tabla 7. Selección unidad lógica.</i>	88
<i>Tabla 8. Selección de Bluetooth.</i>	91
<i>Tabla 9. Tabla de selección de elementos de switcheo.</i>	104

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Figura 1. Clasificación de carros por tamaño.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2. Características carro de mercado estándar.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3. Motor pasó a paso siemens 72 v.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4. Motor Reductor GR 63X55.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 5. Datos técnicos GR63x55.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6. Motor dc de alta velocidad CM-25-280</i>	<i>20</i>
<i>Figura 7. Características modulo bluetooth HC-05.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 8. Características modulo bluetooth HC-06.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 9. Placa única Raspberry pi.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 10. Diagrama de pines de pic 18f4550.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 11. Integrado MSP430F2274-EP</i>	<i>27</i>
<i>Figura 12. Diagrama de pines de Atmega8a.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 13. ATmega168A.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 14. Tarjeta embebida pcDuino.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 15. Integrado l292d.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 16. Relés.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 17. Funcionamiento sensores ultrasónicos.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 18. Ejemplos de sensores capacitivos.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 19. Sensor magnético.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 20. Robot movil.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 21. Problema básico de planeación de trayectorias.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 22. Componentes de un sistema tele operado.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 23. Robot móvil de dos ruedas.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 24. Robot Giraq_02.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 25. Esquema odometrico implementado.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 26. Robot Prowler 720 de Kreepy Krauly.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 27. Diagrama de bloques del sistema de navegación aplicado al modelo virtual del robot.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 28. Modelo del robot en Simulink.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 29. Diagrama de bloques construido en Simulink para la simulación del sistema de navegación.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 30. Vehículo Robótico.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 31. Espacio virtual en relación al espacio a recorrer por el vehículo.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 32. Trayectoria de vehículo robótico.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 33. Prototipo.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 34. Disposición de los sensores de luminosidad.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 35. Robot seguidor de personas.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 36. Hop!.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 37. Silla de ruedas robótica.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 38. Carro de compras inteligente.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 39. Carro de mercado con Kinect.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 40. Rueda del carro.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 41. Coeficientes de rozamiento en giro.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 42. Diagrama de cuerpo libre.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 43. Baterías.....</i>	<i>66</i>

<i>Figura 44. Diagrama de cálculo de esfuerzo en eje.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 45. Acople motor llanta trasera.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 46. Acople motor llanta trasera.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 47. Soporte sensores delanteros.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 48. Soporte sensores lado derecho.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 49. Carro de mercado con las modificaciones mecánicas.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 50. Icono y nombre app.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 51. Screen principal app.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 52. Diagrama de funcionamiento de la app.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 53. Plano de las 3 dimensiones acelerómetro.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 54. Datos del Acelerómetro al caminar 3 posiciones eje z.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 55. Sensor ultrasónico HC-SR04.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 56. Ubicación de sensores.</i>	<i>84</i>
<i>Figura 57. Funcionamiento de los sensores frente al usuario.</i>	<i>86</i>
<i>Figura 58. Diagrama de flujo de funcionamiento</i>	<i>87</i>
<i>Figura 59. Diagrama de flujo sensor ultrasónico.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 60. Modulo bluetooth HC-06.</i>	<i>91</i>
<i>Figura 61. Vinculación Bluetooth con el celular.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 62. Distribución de unidad lógica.</i>	<i>94</i>
<i>Figura 63. Diagrama de flujo de PIC1</i>	<i>95</i>
<i>Figura 64 Diagrama de flujo de PIC2</i>	<i>96</i>
<i>Figura 65. Clasificación de los microcontroladores.</i>	<i>101</i>
<i>Figura 66. Funcionamiento puente H.</i>	<i>103</i>
<i>Figura 67. Puente H con transistores</i>	<i>104</i>
<i>Figura 68. Corriente consumida de cada motor.</i>	<i>105</i>
<i>Figura 69. Datasheet TIP 35 y TIP 36.</i>	<i>105</i>
<i>Figura 70. Datasheet beta TIP 35 Y TIP 36.</i>	<i>106</i>
<i>Figura 71. Puente H.</i>	<i>106</i>
<i>Figura 72. Cálculos puente H.</i>	<i>107</i>
<i>Figura 73. Beta TIP122.</i>	<i>108</i>

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. PROGRAMACION APP INVENTOR.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO B. DIAGRAMA DE FLUJO APP	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO C. MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO D. VISTAS CARRO DE MERCADO SOLIDWORK	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO E. PROPIEDADES CARRO DE MERCADO SOLIDWORK....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO F. PRUEBA CURVATURA CARRO DE MERCADO SOLIDWORK	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En el proyecto se implementa un sistema móvil automático para un carro de mercado estándar utilizado en los almacenes de cadena, el cual pretende facilitar la movilidad para personas que se les dificulten la utilización y el transporte del mismo. Para dar solución a lo anteriormente mencionado se propone un sistema de seguimiento por parte del carro de mercado hacia el usuario, el cual tendrá un sistema de referencia móvil.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día es común observar personas que por algún motivo no se le facilita movilizarse ya sea por alguna discapacidad física o en las mujeres estar en estado de embarazo, entre otras razones. Por este motivo realizar tareas básicas les presenta un mayor grado de dificultad. Por esto, se piensa facilitar una de las tareas básicas como lo es el salir de compras a un almacén de cadena o supermercado, para no tener que movilizar el carro de mercado y así sea de mayor agrado salir a merchar.

1.2.1 Antecedentes del problema

En el pasado las personas con alguna discapacidad física enfrentaban grandes problemas para movilizarse por las grandes ciudades, ya que estas no estaban diseñadas ni pensadas para ellos, afortunadamente en los últimos años se ha tomado conciencia y cada vez es más frecuente observar buses, escaleras, edificios, parques, y otros lugares pensados en facilitar el uso o la movilidad de personas con discapacidad física esto sin contar con que cada vez existen más productos o sistemas que ayudan a realizar tareas comunes con más facilidad. A su vez los establecimientos de cadena tratan de mejorar el trato al cliente cada vez más para que la experiencia del consumidor sea agradable y fácil.

1.2.2 Descripción del problema

En la vida cotidiana es necesario hacer mercado en sitios que satisfagan las necesidades de los consumidores y cada vez es más común hacerlo en almacenes de cadena en donde se encuentran gran variedad de productos, los cuales busca facilitar la actividad de compra del usuario. Esta tarea se realiza en la mayoría de los casos con ayuda de un carro de mercado el cual debe ser empujado por el cliente por todo el almacén durante todo el periodo de tiempo en el que se esté mercando, sin embargo, además del problema que implica maniobrar y hacer fuerza para mover el carro de mercado hay personas que por su condición se les dificulta aún más el manejo y utilización de un carro de mercado estándar.

1.2.3 Formulación del problema

En sentido de lo anterior, la pregunta que orienta el presente proyecto es: ¿Cómo se puede facilitar la movilidad de un carro de mercado estándar para personas que se les dificulte el manejo y utilización del mismo?

1.3 JUSTIFICACIÓN

La compra de productos en almacenes de cadena se ha convertido en parte fundamental en la vida de las familias contemporáneas, por lo que se hace necesario que grandes cadenas de supermercados hagan inversiones con el fin de facilitar y hacer más cómoda la experiencia del usuario al momento de comprar.

Uno de los principales elementos que intervienen en el proceso de compra de productos en estos almacenes de cadena son los carros de mercado, los cuales en los últimos años no han tenido avances tecnológicos significativos, no se han innovado y su sistema de movilidad es básicamente el mismo¹, por esto y con el fin de mejorar la experiencia del usuario al momento de comprar, es necesario implementar sistemas que mejoren el servicio de este.

En base a lo anteriormente mencionado, el proyecto propone un sistema de movilidad autónomo implementado en un carro de mercado para el uso de personas que se les dificulte su uso. Este proceso referenciará al usuario por medio de un sistema portable, el cual deberá llevar en todo el trayecto que dure mercando en el almacén de cadena; El carro de mercar estará siguiendo este sistema de referencia (Usuario) en una distancia óptima establecida y tendrá un control de velocidad dependiendo de la del usuario. Con esto se propone solucionar de cierta forma la tediosa tarea de manejar y empujar un carro de mercado estándar, que por su movilidad o peso es de mayor dificultad para algunas personas.

Es de mencionar que en la mayoría de almacenes de cadena actuales no se ha implementado un sistema de movilidad parecido con algo tan necesario, indispensable y de gran importancia², por esto y con el fin de que pueda ser implementado a futuro se realiza este proyecto, además en términos generales hay pocos sistemas de referencia y seguimiento los cuales faciliten la realización de alguna actividad y mejoren la calidad de vida o servicio de las personas.

¹ Dinero [Internet], El que empuja los carritos de mercado, [En línea]. 2014, <http://www.dinero.com/empresas/articulo/el-empuja-carritos-del-mercado/167778>, [consultado 3 Enero de 2017].

² El Tiempo [Internet], Diseñan carro de mercado para ayudar a los invidentes a hacer compras, [En línea]. 2007, <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3861201>, [consultado 28 Enero de 2017].

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de movilidad autónomo para un carro de mercado estándar utilizado en los almacenes de cadena.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar e implementar un sistema mecánico para la movilidad autónoma de un carro de mercado estándar.
- Diseñar e implementar un sistema de comunicación eficaz entre el sistema de referencia y un carro de mercado estándar.
- Realizar el algoritmo del carro de mercadería estándar para el seguimiento del sistema de referencia (usuario).

1.4.3 Delimitación del proyecto

El carro de mercado deberá seguir al usuario a una distancia mínima de 50 centímetros y máxima a 1 metro. Este no será capaz de esquivar obstáculos. Su tiempo de funcionamiento estará limitado a la batería seleccionada y el peso máximo capaz de transportar el carro para un buen funcionamiento será de 80 kilogramos máximo. Los objetos que serán ingresados al carro no deberán tener mayor volumen ni peso que la capacidad del carro. El carro no reconocerá cambios agresivos de velocidad del usuario, el sistema de referencia móvil tendrá que ser llevado por el usuario cumpliendo ciertas condiciones inicialmente dadas.

1.5 MARCO REFERENCIAL

1.5.1 Marco teórico

En la búsqueda del carro de mercado más apropiado para la implementación del sistema de seguimiento se selecciona el que mejor se adecue, ya que existen diferentes clases, tamaños y materiales en los carros que hará que varíe sus características como peso y volumen entre otros, así como también hallar el mejor tipo de motor y demás dispositivos para la comunicación inalámbrica, y el circuito electrónico y de potencia, con ello poder cumplir con los objetivos propuestos.

1.5.1.1 Materiales en carros de mercado

Los materiales que se encuentran normalmente en los carros de mercado varían según el fabricante y el gusto de cada almacén o supermercado de cadena, entre los más usados se encuentran:

1.5.1.1.1 Alambre

Se denomina alambre a todo tipo de hilo delgado que se obtiene por el estiramiento de los diferentes metales de acuerdo con la propiedad de ductilidad que poseen los mismos. Los principales metales para la producción de alambre son: hierro, cobre, latón, plata, aluminio, entre otros³.

Usualmente el diámetro del alambre usado es de 3.4 mm y 7 mm y. Como también se usa una terminación cromada la cual es la técnica de depositar mediante galvanoplastia una fina capa de cromo sobre un objeto de otro metal o de plástico. La capa de cromo puede ser simplemente decorativa, proporcionar resistencia frente a la corrosión, facilitar la limpieza del objeto, o incrementar su dureza superficial.

1.5.1.1.2 Plástico

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas denominadas polímeros, de estructura macromolecular que puede ser moldeada mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono.

Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización.

³ Quiminet, Conozca los diferentes tipos de alambre, [En línea]. 2012, <http://www.quiminet.com/articulos/conozca-los-diferentes-tipos-de-alambre-3000049.htm>, [consultado 3 Agosto de 2015].

Los plásticos proporcionan el balance necesario de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales, por ejemplo: color, peso, tacto agradable y resistencia a la degradación ambiental y biológica⁴.

1.5.1.1.3 Polipropileno

El material más común para la manija del carro del mercado es el polipropileno que es un termoplástico que es obtenido por la polimerización del propileno, subproducto gaseoso de la refinación del petróleo. Todo esto desarrollado en presencia de un catalizador, bajo un cuidadoso control de temperatura y presión⁵.

1.5.1.2 Clasificación de carros de mercar por tamaño



Figura 1. Clasificación de carros por tamaño.



Figura 2. Características carro de mercado estándar.

⁴ Polycart [Internet], Un carro de mercado lleno de ventajas, [En línea]. 2015, <http://polycartgroup.com/ventajas.htm>, [consultado 25 Enero de 2017].

⁵ Petroquim [Internet], Qué es el polipropileno, [En línea].[Http: //www.petroquim.cl/que-es-elpolipropileno](http://www.petroquim.cl/que-es-elpolipropileno), [consultado 3 Agosto de 2015].

1.5.1.3 Motores

1.5.1.3.1 Servomotor

Un Servo es un dispositivo pequeño que tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la señal codificada cambia, la posición angular de los piñones cambia. En la práctica, se usan servos para posicionar superficies de control como el movimiento de palancas, pequeños ascensores y timones. Ellos también se usan en radio control, títeres, y por supuesto, en robots⁶.

1.5.1.3.2 Motor Pasó a Paso

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360°.

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres⁷. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

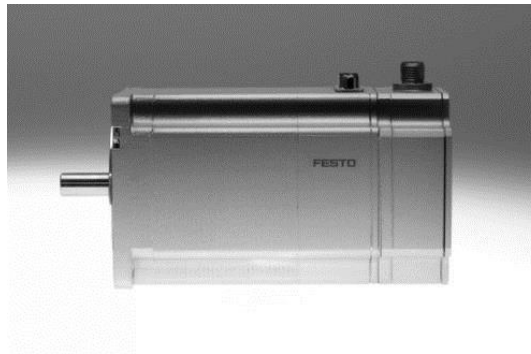


Figura 3. Motor pasó a paso siemens 72 v.

Características del motor:

⁶ El Servomotor [Internet], [En línea]. 2014, [http: //www.infoab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm](http://www.infoab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm), [consultado 4 Agosto de 2015].

⁷ Todo Robot, Motores Paso a Paso [Internet], [En línea]. 2014, [http: //www.todorobot.com.ar/tutorial-sobremotores-paso-a-paso-stepper-motors/](http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobremotores-paso-a-paso-stepper-motors/), [consultado 3 Agosto de 2015].

- AC DC: DC
- Tipo: paso a paso
- Voltaje: 72V
- Par: 1.74 Nm (1.28 ft.lb)
- Potencia: 8 W (0.01 hp)
- Velocidad de rotación: 6000 rpm (37699.11 rad.min-1)⁸.

1.5.1.3.3 Motor Reductor

Los reductores y motor reductores mecánicos de velocidad se pueden contar entre los inventos más antiguos de la humanidad y aún en estos tiempos del siglo XXI se siguen utilizando prácticamente en cada máquina que tengamos a la vista, desde el más pequeño reductor o motor reductor capaz de cambiar y combinar velocidades de giro en un reloj de pulsera, cambiar velocidades en un automóvil, hasta enormes motor reductores capaces de dar tracción en buques de carga, molinos de cemento, grandes máquinas cavadoras de túneles o bien en molinos de caña para la fabricación de azúcar.

Un motor reductor tiene un motor acoplado directamente, el reductor no tiene un motor acoplado directamente⁹.

La sencillez del principio de funcionamiento y su grado de utilidad en una gran variedad de aplicaciones es lo que ha construido la trascendencia de este invento al través de los siglos.

⁸ Festo [Internet], [En línea]. 2017 <http://www.directindustry.es/prod/festo/product-4735-1720000.html>, [consultado 3 Agosto de 2016].

⁹ Potenciaelectromecánica [Internet], Calculo de un motor reductor, [En línea]. 2015, <http://www.potenciaelectromecanica.com/calculo-de-un-motorreductor>, [consultado 4 Agosto de 2015].



Figura 4. Motor Reductor GR 63x55¹⁰.

Los motores serie GR/G (Motores de corriente continua de colector) de la empresa Dunkermotoren se caracterizan por:

- Vida útil más elevada que los motores de colector de otros fabricantes
- Momento bajo de retención
- Elevado rendimiento
- Aceleración dinámica
- Buena regulación
- Densidad de potencia elevada
- Libres de mantenimiento
- Construcción robusta
- Bajo momento de inercia

Data / Technische Daten		GR 63x55			
Rated voltage/ Nennspannung	VDC	12	24	40	60
Continuous rated speed/ Nenn Drehzahl	rpm*)	3000	3350	3450	3350
Continuous rated torque/ Nenn Drehmoment	Ncm*)	24	27	27	28.5
Continuous current/ Nennstrom	A*)	8.7	4.9	3	2
Starting torque/ Anlaufmoment	Ncm**)	202	211	210	200
Starting current/ Anlaufstrom	A**)	64	40	28.6	19.7
No load speed/ Leerlauf Drehzahl	rpm**)	3500	3650	3600	3600
No load current/ Leerlaufstrom	A**)	0.8	0.4	0.28	0.2
Demagnetization current/ Entmagnetisierstrom	A**)	66	33	20	13
Rotor inertia/ Trägheitsmoment	gcm ²	750	750	750	750
Weight of motor/ Motorgewicht	g	1700	1700	1700	1700

Figura 5. Datos técnicos GR63x55.

¹⁰ Ametek precisión motor [Internet], Permanent Magnet DC-Motor GR 63x55, [En línea]. 2016, <http://www.dunkermotor.com/default.asp?id=9&mid=12&lang=2>, [consultado 4 Febrero de 2016].

1.5.1.3.4 Motor de corriente directa

El principio de funcionamiento de los motores eléctricos de corriente directa o continua se basa en la repulsión que ejercen los polos magnéticos de un imán permanente cuando, de acuerdo con la Ley de Lorentz, interactúan con los polos magnéticos de un electroimán que se encuentra montado en un eje. Este electroimán se denomina “rotor” y su eje le permite girar libremente entre los polos magnéticos norte y sur del imán permanente situado dentro de la carcasa o cuerpo del motor.

Cuando la corriente eléctrica circula por la bobina de este electroimán giratorio, el campo electromagnético que se genera interactúa con el campo magnético del imán permanente. Si los polos del imán permanente y del electroimán giratorio coinciden, se produce un rechazo y un torque magnético o par de fuerza que provoca que el rotor rompa la inercia y comience a girar sobre su eje en el mismo sentido de las manecillas del reloj en unos casos, o en sentido contrario, de acuerdo con la forma que se encuentre conectada al circuito la pila o la batería¹¹.



Figura 6. Motor dc de alta velocidad CM-25-280¹².

¹¹ AF [Internet], Así funciona el motor de corriente directa o continua, [En línea]. 2017, http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_motor_cd/af_motor_cd_6.htm, [consultado 31 Enero de 2015].

¹² Direct Industry [Internet], Motor DC / síncrono / 96V / de alta velocidad CM-25-280, [En línea]. 2016, <http://www.directindustry.es/prod/celeroton-ag/product-70024-1169717.html>, [consultado 13 Febrero de 2016].

- AC DC: DC
- Tipo: síncrono
- Voltaje: 96V
- Otras características: De alta velocidad, unipolar, con imán permanente
- Par: Mín.: 0.025 Nm (0.02 ft.lb)
Máx.: 0.034 Nm (0.03 ft.lb)
- Potencia: 730 W (0.98 hp), 1000 W (1.34 hp)
- Velocidad de rotación: Mín.: 250000 rpm (1570796.33 rad.min⁻¹)
Máx.: 280000 rpm (1759291.89 rad.min⁻¹)

1.5.1.4 Tipos de Comunicación Inalámbrica

Ahora se habla de los diferentes términos que se usan en la comunicación inalámbrica entre los que se destacan bluetooth, infrarrojo, GSM, CDMA, EDGE, TDMA y GPRS¹³.

1.5.1.4.1 Infrarrojo

Al hablar de comunicación inalámbrica lo primero que se piensa es en señales de radio. Sin embargo, olvidamos que nos comunicamos habitualmente con equipos electrónicos utilizando una tecnología que se ha vuelto muy común, extremadamente sofisticada y eficaz: las comunicaciones mediante infrarrojos. Como por ejemplo cuando se opera un control remoto, lo que uno hace es comunicarse por medio de luz en la gama de los infrarrojos

Un enlace de este tipo puede servir, por ejemplo, para enviar datos a un robot desde sensores, establecer y detectar balizas en el entorno, comunicar varios robots entre sí, o para que una persona dé órdenes utilizando un aparato convencional de control remoto (como el de su TV)¹⁴.

1.5.1.4.2 Bluetooth

¹³ GAUSIN [Internet], Saúl, Dispositivos Móviles, [En línea]. 2015, <http://dispositivosmovilessaulg.blogspot.com/2012/02/los-diferentes-tipos-de-comunicacion.html>, [consultado 8 Agosto de 2015].

¹⁴ Telecomunicaciones 60641 [Internet], Transmisión por Infrarrojos, [En línea]. 2010, <http://carlosjaviergonzalezdiaz.blogspot.com/2010/11/transmision-por-infrarrojos.html>, [consultado 22 Octubre de 2015].

Facilita las comunicaciones entre equipos móviles y fijos, elimina cables y conectores entre éstos y ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

Bluetooth es la norma que define un estándar global de comunicación inalámbrica, que posibilita la transmisión entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia¹⁵. Principales objetivos que esta norma pretende:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas.

El estándar Bluetooth se basa en el modo de operación maestro/esclavo. El término "piconet" se utiliza para hacer referencia a la red formada por un dispositivo y todos los dispositivos que se encuentran dentro de su rango. Pueden coexistir hasta 10 piconets dentro de una sola área de cobertura. Un dispositivo maestro se puede conectar simultáneamente con hasta 7 dispositivos esclavos activos (255 cuando se encuentran en modo en espera). Los dispositivos en una piconet poseen una dirección lógica de 3 bits, para un máximo de 8 dispositivos. Los dispositivos que se encuentran en el modo en espera se sincronizan, pero no tienen su propia dirección física en la piconet¹⁶.

Para el uso del bluetooth como medio de comunicación se requiere un módulo bluetooth como los siguientes ejemplos:

1.5.1.4.2.1 Módulos bluetooth

Los módulos de bluetooth HC-05 y HC-06 son módulos muy populares para aplicaciones con microcontroladores PIC y Arduino. Se trata de dispositivos relativamente económicos y que habitualmente se venden en un formato que permite insertarlos en un protoboard y cablearlo directamente a cualquier microcontrolador, incluso sin realizar soldaduras¹⁷.

El módulo de bluetooth HC-05 es el que ofrece una mejor relación de precio y características, ya que es un módulo Maestro-Esclavo, quiere decir que además de recibir conexiones desde una PC o tablet, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos bluetooth. Esto nos permite por ejemplo, conectar dos módulos de bluetooth y formar una conexión punto a punto para transmitir datos entre dos microcontroladores o dispositivos.

¹⁵ SANCHEZ [Internet], Virginia, Omron, Comunicaciones vía Bluetooth, [En línea].2015, http://www.carolindustrial.es/descargas/GR_Bluetooth.pdf, [consultado 23 Agosto de 2015].

¹⁶ High-Tech [Internet], Como Funciona Bluetooth, [En línea]. 2015, <http://es.ccm.net/contents/69-como-funciona-bluetooth>, [consultado 21 Octubre de 2015].

¹⁷ Geekfactory [Internet], Bluetooth HC-05 y HC-06, [En línea]. 2010, <http://www.geekfactory.mx/tutoriales/bluetooth-hc-05-y-hc-06-tutorial-de-configuracion/>, [consultado 22 Octubre de 2016].

El modulo Bluetooth HC-06 utiliza el protocolo UART RS 232 serial. Es ideal para aplicaciones inalámbricas, fácil de implementar con PC, microcontrolador o módulos Arduinos y tiene los 4 pines de fácil acceso.

La tarjeta incluye un adaptador con 4 pines de fácil acceso para uso en protoboard.

Características

- Compatible con el protocolo Bluetooth V2.0.
- Voltaje de alimentación: 3.3VDC – 6VDC.
- Voltaje de operación: 3.3VDC.
- Baud rate ajustable: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200.
- Baud rate por defecto: 9600.
- Tamaño: 1.73 in x 0.63 in x 0.28 in (4.4 cm x 1.6 cm x 0.7 cm)



Figura 7. Características modulo bluetooth HC-05.

Características

- Compatible con el protocolo Bluetooth V2.0.
- Voltaje de alimentación: 3.3VDC – 6VDC.
- Voltaje de operación: 3.3VDC.
- Baud rate ajustable: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200.
- Tamaño: 1.73 in x 0.63 in x 0.28 in (4.4 cm x 1.6 cm x 0.7 cm)
- Corriente de operación: < 40 mA.



Figura 8. Características modulo bluetooth HC-06¹⁸.

1.5.1.4.3 Comunicaciones GSM

El sistema GSM (Sistema global de comunicaciones móviles) es un sistema de telefonía celular para la transmisión digital de voz y datos con una gran calidad que se está extendiendo por todo el mundo. Para poder utilizarlo, debe disponer de un teléfono celular compatible, abonarse al servicio GSM, utilizar un cable GSM y emplear un software de comunicaciones compatible con GSM.

El sistema GSM proporciona al módem características de línea terrestre y de telefonía digital GSM; puede utilizar el módem para transferir datos por las líneas telefónicas o para realizar la transmisión a través de un teléfono celular. Puede enviar y recibir archivos, faxes y mensajes cortos (SMS), y acceder a servicios en línea y a Internet. Puede efectuar estas transferencias de datos desde cualquier lugar dentro el área de cobertura de su

¹⁸ Electronilab [Internet], Módulo Bluetooth HC-05 y HC-06 Serial Rs232, [En línea]. 2017, <https://electronilab.co/tienda/modulo-bluetooth-hc-06-serial-rs232ttl/>, [consultado 1 Febrero de 2017].

proveedor de servicios de telefonía GSM. Consulte la documentación del sistema GSM para obtener información sobre su configuración, conexión y uso¹⁹.

1.5.1.4.4 CDMA

Esta tecnología para diferenciar a los distintos usuarios usan códigos digitales únicos, los códigos son conocidos tanto por la estación móvil (teléfono celular) como por la estación base, y se llaman "Secuencias de Código Pseudo-Aleatorio", y por esta razón todos los usuarios comparten el mismo rango del espectro radioeléctrico, todo esto sucede gracias a que usa una tecnología de Espectro Ensanchado, esto quiere decir la información se extiende sobre un ancho de banda mucho mayor que el original, conteniendo una señal identificativa, esto empieza con una transmisión a 9600 bits por segundo, por consiguiente la señal es ensanchada para ser transmitida a 1.23 Megabits por segundo aproximadamente. Un ensanchamiento implica que un código digital concreto se aplica a la señal generada por un usuario en una célula.

En la técnica CDMA podemos destacar principalmente dos aplicaciones:

- Tecnología CDMA: Se utiliza como tecnología en aplicaciones militares, donde el rechazo a la interferencia y la seguridad son unos de los factores más importantes. Así como para el rechazo al multitrayecto en entornos de radio móvil sobre tierra.

Acceso múltiple por división en código: Donde el número de usuarios comparten canal sin mecanismos de sincronización externa. Como por ejemplo radio móvil²⁰.

1.5.1.4.5 WIFI

Cuando se habla de WIFI se refiere a una de las tecnologías de comunicación inalámbrica más utilizada hoy en día.

En la actualidad hay dos tipos de comunicación WIFI:

802.11b, que emite a 11 Mb/seg, y

802.11g, más rápida, a 54 MB/seg.

De hecho, son su velocidad y alcance (unos 100-150 metros en hardware asequible) lo convierten en una fórmula perfecta para el acceso a internet sin cables²¹.

¹⁹ 3COM, Comunicaciones GSM, [En línea]. 2013, <http://support.usr.com/support/3cxm756/3cxm756-spanish-ug/3C756-32.htm>, [consultado 23 Agosto de 2015].

²⁰ Sistema CDMA, [En línea]. 2015, <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11479/fichero/3-Sistemas+CDMA.pdf>, [consultado 02 Octubre de 2015].

Para tener una red inalámbrica en casa sólo se necesita un punto de acceso, que se conectaría al módem, y un dispositivo WIFI que se conectaría al dispositivo. Existen terminales WIFI que se conectan al PC por USB, pero son las tarjetas PCI (que se insertan directamente en la placa base) las recomendables, permite ahorrar espacio físico de trabajo y mayor rapidez. Para portátiles se encuentran tarjetas PCMI externas, aunque muchos de los aparatos ya se venden con tarjeta integrada.

En cualquiera de los casos es aconsejable mantener el punto de acceso en un lugar alto para que la recepción/emisión sea más fluida. Incluso si la velocidad no es tan alta como debería, quizás sea debido a que los dispositivos no se encuentran adecuadamente situados o puedan existir barreras entre ellos (como paredes, metal o puertas).

El funcionamiento de la red es bastante sencillo, normalmente sólo tendrás que conectar los dispositivos e instalar su software. Muchos de los enrutadores WIFI (routers WIFI) incorporan herramientas de configuración para controlar el acceso a la información que se transmite por el aire.

1.5.1.5 Sistemas Embebidos o Tarjetas de desarrollo

Los sistemas embebidos son sistemas computacionales aplicados, posiblemente compuestos también por otro tipo de elementos mecánicos i/o electromecánicos, aunque están constituidos por la unión hardware - software, se diferencian de otros sistemas como por ejemplo los computadores personales por el hecho de estar diseñados para cumplir funciones específicas. Es decir, un sistema embebido puede pensarse como: "Un sistema cuya función principal no es computacional, pero independientemente de esto es controlado por un computador embebido en su interior"²² se entiende por embebido o empotrado como "oculto" por tanto estos dispositivos de cómputo no son visibles ni programables por el usuario final. Otro autor define el término con simpleza: "un sistema embebido es un computador oculto en el interior de otro producto"²³.

Revisado artículos que pretenden ampliar el panorama y saber qué otras alternativas existen se encuentran las siguientes opciones²⁴:

1.5.1.5.1 Raspberry Pi

²¹ WIFI La comunicación Inalámbrica [Internet], [En línea]. 2015, <http://www.aulaclie.es/articulos/wifi.html>, [consultado 08 Octubre de 2015].

²² WILMSHURST, Tim, Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers, Elsevier, 2007, p 3.

²³ SUTTER Ed. Embedded Systems Firmware Demystified. CMP Books. 2002. p 2.

²⁴ Hacedores [Internet], Que tarjeta de desarrollo elegir [Internet], [En línea]. 2014, <http://hacedores.com/que-tarjeta-de-desarrollo-elegir-parte-2/>, [consultado 14 Octubre de 2015].

Fue diseñada desde el principio como una plataforma de bajo costo para que los niños aprendieran programación, una herramienta educativa barata. Pese a eso, más que a causa de ello, miles de proyectos creativos de computación embebidos se están construyendo en torno a la tarjeta. Al igual que con el Arduino, es la floreciente comunidad de la Pi lo que la ha hecho exitosa.

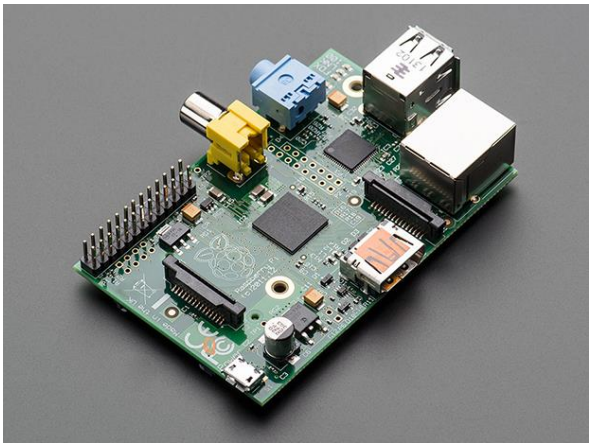


Figura 9. Placa única Raspberry pi.

1.5.1.5.2 Microcontrolador pic 18f4550

40-Pin PDIP

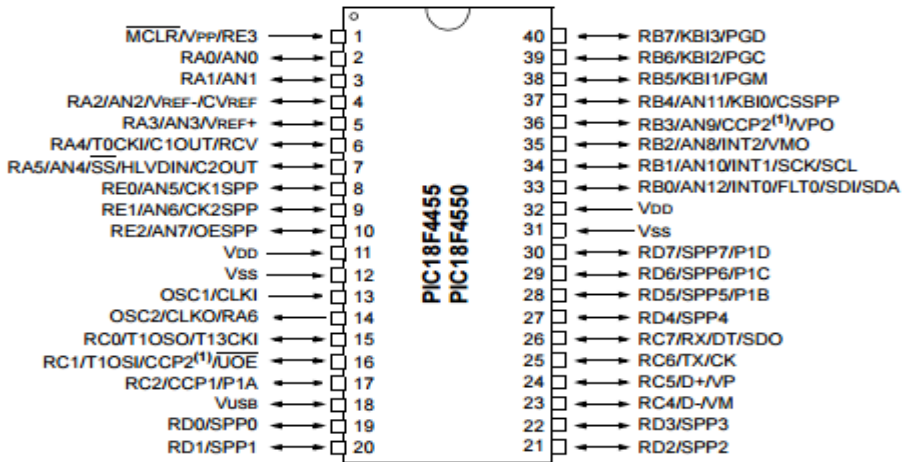


Figura 10. Diagrama de pines de pic 18f4550.²⁵

²⁵ Data Sheet 18F4550 [Internet]. microchip.com. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>

Principales características del Pic 18F4550

- Microcontrolador con modulo USB 2.0. Soporta Low speed 1.5Mb/s y full speed 12Mb/s.
- 1kB de memoria de doble acceso vía USB
- 35 pines I/O disponibles
- Memoria de programa flash de 32 kB
- RAM de 2048 Bytes
- Velocidad de la CPU 12 MIPS
- Oscilador externo de dos modos hasta 48 MHz
- Oscilador interno seleccionable entre 8 frecuencias desde 31kHz hasta 8MHz

1.5.1.5.3 Microcontrolador MSP430F2274-EP

La familia MSP430 de microcontroladores ultralow de Texas Instruments consta de varios dispositivos que incluyen diferentes conjuntos de periféricos orientados a diversas aplicaciones. La arquitectura, combinada con cinco de baja potencia está optimizada para lograr una mayor duración de la batería en aplicaciones de medición portátiles.

La serie MSP430F2274M es un microcontrolador de señal mixta de potencia con dos temporizadores incorporados de 16 bits, Interfaz de comunicación serial universal, convertidor A / D de 10 bits con referencia integrada, dos amplificadores operacionales de uso general en los dispositivos MSP430F2274M y 32 pines de E / S.



Figura 11. Integrado MSP430F2274-EP²⁶.

²⁶ Texas Instruments [Internet], MSP430F2274, [En línea]. 2017, <http://www.ti.com/product/MSP430F2274>, [consultado 14 Enero de 2017].

1.5.1.5.4 Atmega8a-pu atmel 8 bit 8k avr microcontroller

El ATmega8A es un microcontrolador CMOS de 8 bits de baja potencia basado en la arquitectura AVR RISC. Mediante la ejecución de potentes instrucciones en un solo ciclo de reloj, el ATmega8A alcanza velocidades aproximadas de 1 MIPS por MHz, lo que permite al diseñador del sistema optimizar el consumo de energía frente a la velocidad de procesamiento.

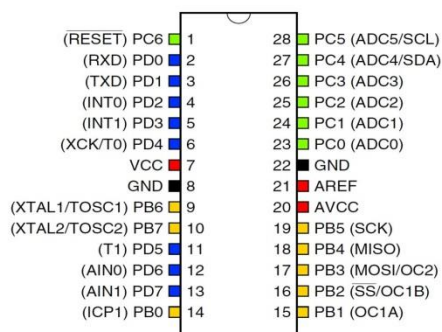


Figura 12. Diagrama de pines de Atmega8a²⁷.

1.5.1.5.5 Atmega168a-pu atmel 8 bit 16k avr microcontroller

El ATmega168A de Atmel es un microcontrolador de 16 k de 8 bits basado en la arquitectura AVR y sustituye al ahora obsoleto ATmega168. Muchas instrucciones se ejecutan en un solo ciclo de reloj proporcionando un rendimiento de casi 20 MIPS a 20MHz y 28 pines²⁸.



Figura 13. ATmega168A.

²⁷ Protostack [Internet], ATMEGA8A-PU Atmel 8 Bit 8K AVR Microcontroller, [En línea]. 2017, <http://www.protostack.com/microcontrollers/atmega8a-pu-atmel-8-bit-8k-avr-microcontroller>, [consultado 20 Enero de 2017].

²⁸ Protostack [Internet], Atmega168a-pu atmel 8 bit 16k avr microcontroller, [En línea]. 2017, <http://www.protostack.com/microcontrollers/atmega168a-pu-atmel-8-bit-16k-avr-microcontroller>, [consultado 20 Enero de 2017].

1.5.1.5.6 PcDuino

La pcDuino es otra tarjeta embebida que ejecuta Linux. Además, cuenta con una interfaz de hardware con headers compatibles con Arduino (TM). PcDuino se puede utilizar con Python y C.

El código se escribe directamente en esta tarjeta, como si se tratara de un Arduino, ejecutándolo de forma nativa en la tarjeta. A partir de \$60 dólares.

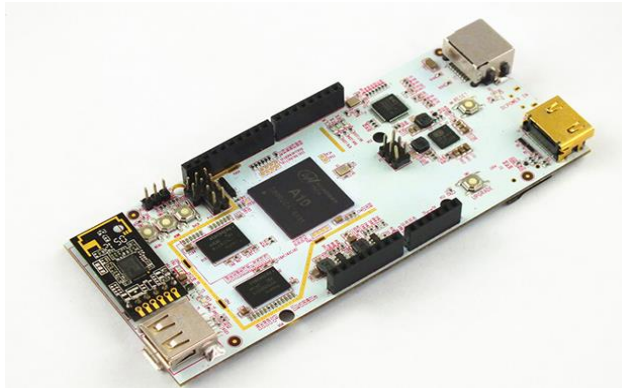


Figura 14. Tarjeta embebida pcDuino.

1.5.1.6 Sistemas de Potencia

Un sistema de potencia consigue adaptar y transformar la electricidad, con la finalidad de alimentar otros equipos, transportar energía y así lograr controlar el funcionamiento de motores, maquinas, etc.

1.5.1.6.1 Transistor

El transistor, inventado en 1951, es el componente electrónico estrella, pues inició una auténtica revolución en la electrónica que ha superado cualquier previsión inicial.

Un transistor puede tener 3 estados posibles en su trabajo dentro de un circuito:

- En activa: deja pasar más o menos corriente.
- En corte: no deja pasar la corriente.
- En saturación: deja pasar toda la corriente.

1.5.1.6.2 Transistor Bipolar

El transistor bipolar es el más común de los transistores, y como los diodos, puede ser de germanio o silicio.

En ambos casos el dispositivo tiene 3 patillas y son: el emisor, la base y el colector.

Existen dos tipos transistores: el NPN y el PNP, y la dirección del flujo de la corriente en cada caso, lo indica la flecha que se ve en el gráfico de cada tipo de transistor.

El transistor es un dispositivo de 3 patillas con los siguientes nombres: base (B), colector (C) y emisor (E), coincidiendo siempre, el emisor, con la patilla que tiene la flecha en el gráfico de transistor.

El transistor bipolar es un amplificador de corriente, esto quiere decir que si le introducimos una cantidad de corriente por una de sus patillas (base), el entregará por otra (emisor), una cantidad mayor a ésta, en un factor que se llama amplificación.

1.5.1.6.3 Transistor MOSFET

Los transistores MOSFET o Metal-Oxido-Semiconductor (MOS) son dispositivos de efecto de campo que utilizan un campo eléctrico para crear una canal de conducción.

Son dispositivos más importantes que los JFET ya que la mayor parte de los circuitos integrados digitales se construyen con la tecnología MOS.

Existen dos tipos de transistores MOS: MOSFET de canal N o NMOS y MOSFET de canal P o PMOS. A su vez, estos transistores pueden ser de acumulación (enhancement) o depleción (deplexion); en la actualidad los segundos están prácticamente en desuso²⁹.

1.5.1.6.4 Puente H

El puente H o puente en H es un circuito electrónico que permite a un motor eléctrico DC girar en ambos sentidos, avanzar y retroceder.

Los puentes H se pueden construir a partir de componentes discretos pero también ya vienen hechos en algunos circuitos integrados especialmente el I293d y I298 nos brinda algunos beneficios importantes que cabe resaltar.

²⁹ Electrónica Unicrom, [Internet], [En línea]. 2015, http://www.unicrom.com/Tut_transistores_MOSFET.asp [consultado 11 Octubre de 2015].

1.5.1.6.4.1 Puente H L293D

El integrado L293D incluye cuatro circuitos para manejar cargas de potencia media, en especial pequeños motores y cargas inductivas, con la capacidad de controlar corriente hasta 600 mA en cada circuito y una tensión entre 4,5 V a 36 V.

Los circuitos individuales se pueden usar de manera independiente para controlar cargas de todo tipo y, en el caso de ser motores, manejar un único sentido de giro. Pero además, cualquiera de estos cuatro circuitos sirve para configurar la mitad de un puente H



Figura 15. Integrado l292d.

1.5.1.6.5 Relé

Un relé es un sistema mediante el cual se puede controlar una potencia mucho mayor con un consumo en potencia muy reducido.

Tipos de relés:

Relés electromecánicos:

- Convencionales.
- Polarizados.
- Reed inversores.
- Relés híbridos.
- Relés de estado sólido.

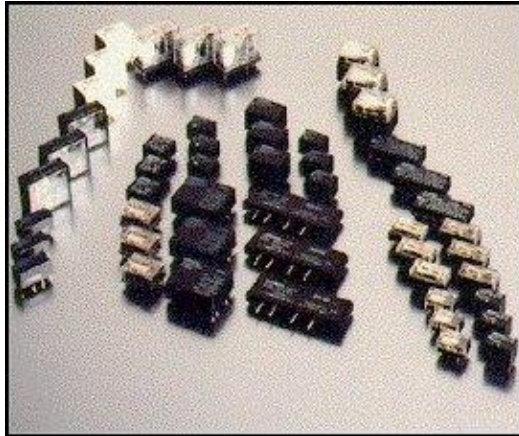


Figura 16. Relés.

Las características generales de cualquier relé son:

- El aislamiento entre los terminales de entrada y de salida.
- Adaptación sencilla a la fuente de control.
- Posibilidad de soportar sobrecargas, tanto en el circuito de entrada como en el de salida.
- Las dos posiciones de trabajo en los bornes de salida de un relé se caracterizan por:

Para los relés de estado sólido se pueden añadir³⁰:

- Gran número de conmutaciones y larga vida útil.
- Conexión en el paso de tensión por cero, desconexión en el paso de intensidad por cero.
- Ausencia de ruido mecánico de conmutación.
- Escasa potencia de mando, compatible con TTL y MOS.
- Insensibilidad a las sacudidas y a los golpes.
- Cerrado a las influencias exteriores por un recubrimiento plástico.

1.5.1.7 Tipos de Sensores de Proximidad

Son los más utilizados y asequibles para aplicaciones que generalmente impiden tocar de manera directa algún objeto, aunque son más utilizados a nivel industrial, como en producción, embalaje,

³⁰ UGR [Internet], [En línea]. 2015 http://www.ugr.es/~amroldan/enlaces/dispo_potencia/relés.htm [consultado 11 Octubre de 2015].

impresión, etc., los diferentes tipos permiten una amplia aplicación para diversos campos, especialmente robótica, ideal para este proyecto.

1.5.1.7.1 Sensor Foto eléctrico

Estos sensores funcionan con materiales o elementos sensibles a la luz, generalmente usados para la detección, clasificación y posicionamiento de objetos; funcionan con un emisor encargado de generar luz y un receptor encargado de percibir la luz generada por el emisor.

Una de las desventajas para implementarla en el proyecto es que obliga al usuario a tener un elemento receptor o emisor, lo cual dificulta su operación, además el movimiento natural que se espera tiene el carro con el usuario no garantiza que el receptor y el emisión estén enfrentados uno a otro, por lo tanto la operación del carro no sería la más óptima.

Los sensores fotoeléctricos se han convertido en elementos cotidianos presentes en máquinas, cintas transportadoras y todo tipo de procesos. Ofreciendo un tamaño conveniente sin perder robustez³¹.

1.5.1.7.2 Sensor ultrasónico

Su función principal como se muestra en la figura es la detección de objetos mediante la emisión y reflexión de ondas acústicas. Funciona emitiendo un pulso y mide el tiempo en que la onda tarda en ir, reflejar y volver, de acuerdo con los parámetros elegidos manda una señal eléctrica digital o analógica. Su principal desventaja es que para la detección de objetivos para superficies inclinadas la onda se desvía, además que en comparación a otros sensores reaccionan con relativa lentitud³².

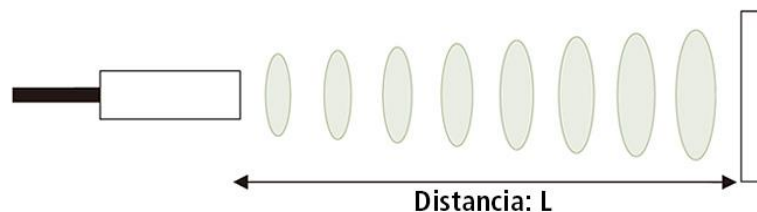


Figura 17. Funcionamiento sensores ultrasónicos³³.

³¹ FIDEMAR [Internet], Sensores de Proximidad, [En línea]. 2017, <http://fidemar.com.uy/site/www/productos/sensores-de-proximidad.c7.html>, [consultado 30 Enero de 2017].

³² Dinero [Internet], El que empuja los carritos de mercado, [En línea]. 2014, <http://www.dinero.com/empresas/articulo/el-empuja-carritos-del-mercado/167778>, [consultado 3 Enero de 2017].

³³ KEYENCE [Internet], Fundamentos del sensor, [En línea]. 2017, <http://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/>, [consultado 30 Enero de 2017].

1.5.1.7.3 Sensor capacitivo

Son sensores que reaccionan cuando al aproximarse una superficie sobrepasan una determinada capacidad, usados generalmente para identificación de objetos, contadores, controles de nivel u otras aplicaciones no tanto industriales como pantalla táctiles en teléfonos móviles. La principal desventaja e inconveniente para la implementación en el proyecto es que el alcance es mucho menor a los requerimientos del proyecto.



Figura 18. Ejemplos de sensores capacitivos³⁴.

1.5.1.7.4 Sensor inductivo

Se utiliza para la detección de objetos metálicos son contacto directo, funciona creando un campo electromagnético en el entorno cercano al objeto a detectar, el objeto metálico al estar cerca del campo magnético genera un aumento o una caída de la oscilación, este cambio es detectado por un circuito que cambia dependiendo del sensor, su principal desventaja es la distancia de operación, que está muy por debajo de las delimitaciones del proyecto.

1.5.1.7.5 Sensor magnético

Como su nombre lo indica, es accionado por medio de contactos en la presencia de un imán o electroimán produciendo así un contacto eléctrico, generalmente caracterizados por conmutar rápidamente, la principal desventaja radica en la distancia de operación, que no se ajusta a las delimitaciones del proyecto.

³⁴ Electrónica Circuitos electrónicos e información técnica [Internet], Sensores de proximidad y sus aplicaciones, [En línea]. 2017, <http://www.electronica2000.com/temas/sensores-proximidad-aplicaciones.htm>, [consultado 30 Enero de 2016].



Figura 19. Sensor magnético.

1.5.1.7.6 Sensor infrarrojo

Es un sensor de distancia que se basa en un sistema de emisión y recepción de radiación lumínica en el espectro de luz infrarroja, generalmente estos sensores trabajan mediante triangulación de luz colimada. Su principal desventaja es que presenta sensibilidad a luz ambiente, por lo que es recomendable usarlo en ambientes controlados con luz de iluminación artificial ya que la luz del sol emite luz infrarroja.

1.5.1.8 Entornos de programación para desarrollar apps

1.5.1.8.1 MIT App inventor

MIT App Inventor es una innovadora introducción para principiantes a la programación y la creación de aplicaciones que transforma el complejo lenguaje de la codificación basada en texto en bloques de construcción visuales, arrastrar y soltar. La sencilla interfaz gráfica le otorga a un novato inexperto la posibilidad de crear una aplicación básica y totalmente funcional dentro de poco tiempo.

El proyecto MIT App Inventor busca democratizar el desarrollo de software al permitir que todas las personas, especialmente los jóvenes, pasen de ser consumidores de tecnología a convertirse en creadores de la misma, En 2015, la comunidad MIT App Inventor consta de casi 3 millones de usuarios que representan a 195 países. Más de 100.000 usuarios semanales activos han construido más de 7 millones de aplicaciones para Android. Como una herramienta de código abierto que busca que la programación y la creación de aplicaciones sean accesibles a una amplia gama de audiencias³⁵.

1.5.1.8.2 Basic 4 Android

Este entorno programa con el lenguaje Visual BASIC, también rival de Java desde sus inicios. En este sentido, Basic4Android está especialmente indicado para aquello

³⁵ MIT app inventor [Internet], [En línea]. 2015, <http://appinventor.mit.edu/>, [consultado 24 marzo de 2016].

desarrolladores Android que empezamos a desarrollar apps en Android. La explicación la encontramos en que es un entorno más gráfico y menos abstracto, de manera que podemos ver los avances conforme programamos³⁶.

1.5.1.8.3 Android Studio

Android Studio es el entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial para el desarrollo de aplicaciones para Android. Además del potente editor de códigos y las herramientas para desarrolladores de IntelliJ, Android Studio ofrece aún más funciones que aumentan tu productividad durante la compilación de apps para Android, como las siguientes³⁷:

- Sistema de compilación flexible basado en Gradle.
- Un emulador rápido con varias funciones.
- Un entorno unificado en el que puedes realizar desarrollos para todos los dispositivos Android.
- Instant Run, para aplicar cambios mientras tu app se ejecuta sin la necesidad de compilar un nuevo APK.
- Integración de plantillas de código y GitHub, para ayudarte a compilar funciones comunes de las apps e importar ejemplos de código.
- Gran cantidad de herramientas y frameworks de prueba.
- Herramientas Lint para detectar problemas de rendimiento, uso, compatibilidad de versión, etc.
- Compatibilidad con C++ y NDK

1.5.2 Estado del arte

En el artículo titulado “Diseño e implementación de un sistema móvil controlado por computador con reconocimiento de la ubicación de obstáculos en el entorno y algoritmos de planificación de la trayectoria”³⁸ describe el funcionamiento de un robot móvil diferencial capaz de esquivar

³⁶ YeePLY [Internet], 10 Entornos de programación para desarrollar apps Android sin Java, [En línea]. 2015, <https://www.yeeply.com/blog/entornos-programacion-desarrollar-apps-android/>, [consultado 28 marzo de 2016].

³⁷ Android Studio [Internet], [En línea]. 2016, <https://developer.android.com/studio/intro/index.html?hl=es-419>, [consultado 3 abril de 2016].

³⁸ J. C. Castellanos Eljach and C. M. Araujo Berrocal. DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA MOVIL CONTROLADO POR COMPUTADOR CON RECONOCIMIENTO DE LA UBICACION DE OBSTACULOS EN EL ENTORNO Y ALGORITMOS DE PLANIFICACION DE LA TRAYECTORIA [Internet]. *Revista Investigaciones Aplicadas* 6(2), 2012. Disponible: <http://ezproxy.unipiloto.edu.co/docview/1328119506?accountid=50440>.

obstáculos mediante el procesamiento de imágenes y algoritmos programados para determinar trayectorias óptimas.

El procesamiento digital de imágenes se refiere a todas aquellas tareas realizadas con el fin de extraer patrones, identificar características, reconstruir, modificar mezclar o comprar imágenes digitales. Uno de los parámetros esenciales en el seguimiento o detección de objetos es conocer la posición del centro de las regiones.

Sea A un objeto rígido simple (el robot móvil) con geometría aproximadamente conocida, que se mueve en el espacio W sin restricciones cinemáticas en el movimiento de A (es decir A es un objeto de libre movimiento). Sean B1,...Bq objetos rígidos distribuidos en W que actúan como obstáculos, y que tienen geometrías aproximadamente conocidas.

Si B1 y B2 son objetos rígidos de geometría conocida distribuidos en el espacio de trabajo que actúan como obstáculos así como se observa en la figura 21. La metodología de la planeación de trayectorias funciona determinando un punto de inicio (partida), un punto final (llegada) y una trayectoria probable con una secuencia continua que el robot recorrerá evitando los obstáculos B1 y B2.



Figura 20. Robot móvil

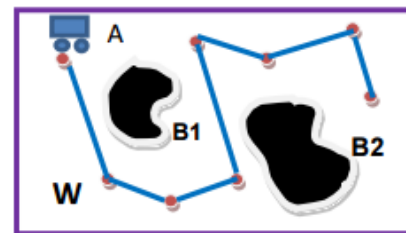


Figura 21. Problema básico de planeación de trayectorias.

Para la planeación de trayectorias es necesario verse desde dos puntos de vista, planeación global de trayectorias y planeación local de trayectorias. La primera hace referencia a una secuencia continua de posiciones y orientaciones de A evitando el contacto con los obstáculos, comenzando en una posición y orientación inicial de A y terminando en la posición de la meta, reportando falla si dicha trayectoria no existe. La segunda hace la planeación en tiempo real de los obstáculos (procesamiento de imágenes) ya que estos no son conocidos previamente.

La metodología del proyecto contempla los siguientes ítems:

- Creación de un escenario: Puede ser real o virtual en el cual se ejecutaran los desplazamientos.
- Ubicación de obstáculos: Se identifican las “zonas” las cuales no es posible establecer rutas.
- Ubicación de puntos de referencia: Se ubican de manera aleatoria en el espacio de trabajo, estas ayudaran a ubicar al robot.
- Creación de rutas: Mediante la unión de los puntos de referencia (generalmente líneas rectas), se establecen rutas, recordando que estas no son válidas si atraviesan obstáculos.

- Búsqueda de rutas validas: Finalmente se establecen los puntos de partida y llegada en una prueba. De manera aleatoria a manera de saltos el sistema comienza a buscar las rutas que conectan estos dos puntos.
- Adquisición de imágenes: Con ayuda de una cámara en tiempo real se hacen las correcciones de trayectoria de manera local.
- Sistema de control de trayectoria: Comprueba que el ángulo del móvil coincide con el ángulo necesario para seguir en línea recta.
- Comparador: Se establece el error entre la posición deseada y la posición del robot móvil.

En el artículo titulado “Sistemas robóticos tele operados”³⁹, se realiza una revisión general sobre los sistemas robóticos tele operados, estructura, componentes principales, clasificación, tipos de sensores, sistemas de locomoción y aplicaciones. Los robots tele operados son aquellos manipulados remotamente por un usuario, usados en muchas circunstancias en las cuales no es conveniente emplear personas para la realización de labores debido al alto riesgo en el que estas se exponen.

Un sistema tele operada se compone principalmente de una estación de tele operación, un sistema de comunicación y un esclavo.



Figura 22. Componentes de un sistema tele operado.

La estación de tele operación está compuesta por un computador el cual interactúa a distancia con las entradas y salidas del robot como se muestra en la figura 22.

Los tipos de locomoción que pueden componer un robot tele operado son los siguientes:

- *Ackerman*: Similar al sistema de dirección de cualquier automóvil de cuatro ruedas.
- *Triciclo clásico*: Está compuesto de tres ruedas, la rueda delantera proporciona dirección y estabilidad, las dos ruedas de atrás proveen la tracción.

³⁹ Ceron Correa, Alexander. Sistemas robóticos teleoperados, Ciencia e Ingeniería Neogranadina [en línea] 2005, (noviembre): Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101505>> ISSN 0124-8170

- *Pistas de deslizamiento*: Son vehículos que tanto su tracción como dirección se consigue mediante bandas de tracción o pistas de deslizamiento, su principal desventaja es la pérdida de velocidad y un mayor gasto de energía.
- *Locomoción mediante patas*: La principal ventaja es el movimiento en terrenos difíciles ya que cuenta con mayores puntos de apoyo, puede tener un movimiento omnidireccional pero su principal desventaja es el consumo excesivo de energía además de que el control es más complejo que un robot de ruedas u orugas.

Los robots pueden tener diferentes tipos de sensores que miden magnitudes físicas como la detección de proximidad de obstáculos, medición de posición, velocidad, aceleración e inclinación.

Los robots tele operados pueden clasificarse de la siguiente manera:

- **Vehículos terrestres no tripulados**: Se utilizan principalmente en operaciones militares o de rescate para el reconocimiento de terreno e incursiones peligrosas.
- **Robots tele operados de pequeña escala**: Se desarrollan principalmente para usos científico y de investigación.
- **Robots de uso policial para desactivación de bombas**: Estos en su mayoría están provistos de manipuladores y de varias cámaras, por esto deben tener un alto grado de precisión, además deben tener mecanismos de locomoción que puedan moverse en diferentes posiciones.

La elección de un sistema tele operado depende de las características del proyecto, es de tener en cuenta variables como tipo de terreno, velocidad o ambiente.

En el artículo titulado “Modelo matemático para un robot móvil”⁴⁰, se desarrolla el modelo matemático de un robot móvil tipo diferencia, se consideraron las características cinemáticas, dinámicas y eléctricas del motor.

En la siguiente figura se muestran los parámetros físicos y variables dinámicas de un robot móvil de movimiento diferencial básico.

⁴⁰ RÍOS G., LUÍS HERNANDO, BUENO L., MAXIMILIANO. MODELO MATEMÁTICO PARA UN ROBOT MÓVIL Scientia Et Technica [en línea] 2008, XIV (Junio) Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903803>> ISSN 0122-1701

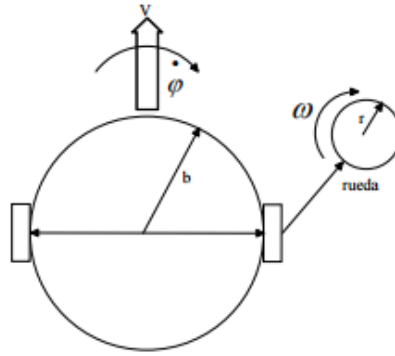


Figura 23. Robot móvil de dos ruedas.

Los parámetros involucrados en este caso la longitud del eje (o distancia entre las ruedas) denominada $2b$; el radio de cada rueda $1r$ y $2r$; la masa del cuerpo del robot, M ; y la masa de cada una de las ruedas, m . Las variables relacionadas con el movimiento del robot son: velocidad lineal que posee el cuerpo del robot, V ; velocidad angular que posee el cuerpo, $\dot{\phi}$; y las velocidades angulares de las ruedas, $\dot{\omega}_1 = \dot{\theta}_1$ para la rueda derecha y $\dot{\omega}_2 = \dot{\theta}_2$ para la rueda izquierda. Además el sistema está asociado a parámetros eléctricos gracias a los motores que proporcionan tracción a las ruedas del robot.

Las ecuaciones cinemáticas son aquellas que relacionan la velocidad de giro con las variables de posición del robot para el robot mencionado antes (x, y, ϕ):

De diferentes apreciaciones se obtiene que:

$$\dot{\phi} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{r(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2)}{2b}$$

Coordenadas de la posición del centro de masa del robot:

$$\dot{x} = V \cos(\phi)$$

$$\dot{y} = V \sin(\phi)$$

Con las ecuaciones dinámicas identificamos las ecuaciones de estado que relacionan las variables de velocidad angular y corriente eléctrica con el tiempo:

$$\begin{pmatrix} \frac{dW_m}{dt} \\ \frac{dl}{dt} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{b_{eq}}{J_{eq}} & \frac{k_1 * r_2}{J_{eq}} \\ -\frac{k_q}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_m \\ I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{J_{eq}} \\ \frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V \\ F_v \end{bmatrix}$$

$$W_m = (1 \ 0) * \begin{pmatrix} W_m \\ I \end{pmatrix} + (0 \ 0) * \begin{pmatrix} V \\ F_v \end{pmatrix}$$

Para obtener la función de transferencia de un motor D.C es necesario tener en cuenta que en el proyecto se usaron dos motores de 12 voltios DC marca DAYTON, modelo 2L010, los cuales desarrollan una velocidad máxima de 18 metros por minuto, su característica de torque es de 20kg con máxima carga (Incluyendo la caja de reducción).

La función de transferencia del sistema estudiado es de segundo orden y se expresa como:

$$H(S) = \frac{k_r * r_2}{(L_a s + R_a)(J_{eq} s + b_{eq}) + k_T * k_v * r_2}$$

Con esto se obtuvo el modelo matemático para un robot móvil el cual es útil para poder controlarlo. Además modelar un robot móvil es complicado debido a la gran cantidad de factores que se ven involucrados.

ODOMETRIA

- Se basa en ruedas de medida y modelos de contacto.
- Elementos de bajo costo y simplicidad de implementación
- Entre los elementos para este tipo de técnica de posicionamiento, están los encoders, los CIR y potenciómetros lineales.
- Estos elementos presentan varios problemas de exactitud ante la presencia de deslizamiento en sus ruedas y desacople mecánico.

POSICIONAMIENTO ABSOLUTO

- Basado en marcas o balizas.
- Necesita de varios elementos externos de referencia para poder brindar una coordenada aceptable.
- La posición no se calcula a partir del análisis del entorno, sino a partir del principio de triangulación.

SISTEMAS RADIOGONOMETRICOS

- Basado en radiófonos y satélites.
- Se basan en la transmisión de señales de radio por estaciones especiales que pueden

<p>captar receptores con antenas altamente direccionales, con el objeto de determinar la latitud y la longitud de un objeto.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permite obtener la posición y/o orientación con respecto a una estación fija, como lo hacen las balizas pero en un espacio mayor, comúnmente usado para el control de aeronaves en aeropuertos.
<p>GPS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Basado en el sistema de posicionamiento global de navegación por satélite. • Permite localizar la posición de un objeto en “cualquier” parte del mundo, por triangulación. • Puede presentar errores con respecto a la posición real. • Cuando es usado como único sistema de referencia puede presentar algunos problemas causado por el bloqueo de las señales de los satélites.
<p>SENSORES INCERCIALES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estos sistemas estiman la posición y la orientación del robot empleando medidas de las aceleraciones y ángulos de orientación. • Los más usados son los acelerómetros y los giroscopios. • Permite medir tanto la inercia, como la inclinación, además de servir para medir y monitorear vibraciones. • Pequeños errores cometidos causa grandes errores en la posición estimada.

Tabla 1. Posicionamiento en robótica móvil.

En el artículo titulado “Sistema de localización de bajo costo y alta prestación para una plataforma robótica móvil”⁴¹ se implementa un sistema de localización de prestación para plataformas robóticas móviles a partir de la información suministrada por un mouse óptico y un compás magnético como elementos de estimación de posición.

La navegación de un robot móvil es la interacción del mismo con el entorno en el que se cumplen una serie de objetivos que exigen conocer e interactuar con varios elementos, es necesario en primer lugar conocer la localización, cinemática, capacidad de maniobrabilidad para definir una técnica de posicionamiento adecuada, en la siguiente tabla 1 se muestra el resumen de las diferentes propuestas que han sido utilizadas en el posicionamiento en robótica móvil.

El robot llamado Giraa_02, mostrada en la figura 24, es una plataforma robótica de movimiento diferencial, cuenta con un micro controlador Motorola 9S12 de 16 bits, un pivote o rodamiento esférico omnidireccional, 8 sensores de ultrasonido y 8 de infrarrojo, separados 45 grados entre sí para cubrir la periferia del robot, es de tener en cuenta que hay puntos ciegos ya que los sensores tienen un lóbulo de detección de aproximadamente 22 grados.

⁴¹ ORTIZ A., LUIS FERNANDO, MUÑOZ C., NELSON DAVID, LONDOÑO OSPINA, NELSON. SISTEMA DE LOCALIZACIÓN DE BAJO COSTO Y ALTA PRESTACIÓN PARA UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVIL Scientia Et Technica [en línea] 2008, XIV (Septiembre-Sin mes) Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920503023>> ISSN 0122-1701

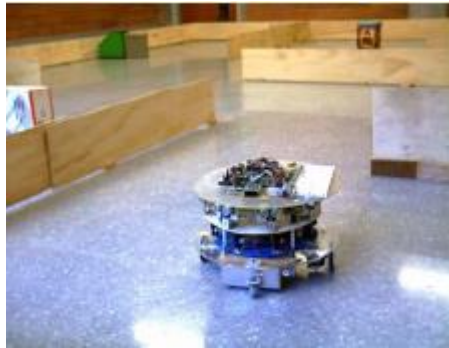


Figura 24. Robot Giraq_02.

Considerando las características y propósitos del robot se hicieron las siguientes apreciaciones respecto al sistema de posicionamiento del robot:

- El sistema de posicionamiento con GPS no es confiable en entornos cerrados.
- Se descartó el sistema de localización por balizas, ya que el entorno de este ataría la operación del robot a entornos fijos predefinidos, ligados a balizas o radiofaros.
- Utilizar información de posición basada en sensores inerciales conlleva a posibles errores debido a la construcción del robot.

Por estas apreciaciones se optó por la utilización de sistemas de medidas internas para el posicionamiento del robot o sistemas odometrico y de navegación inercial.

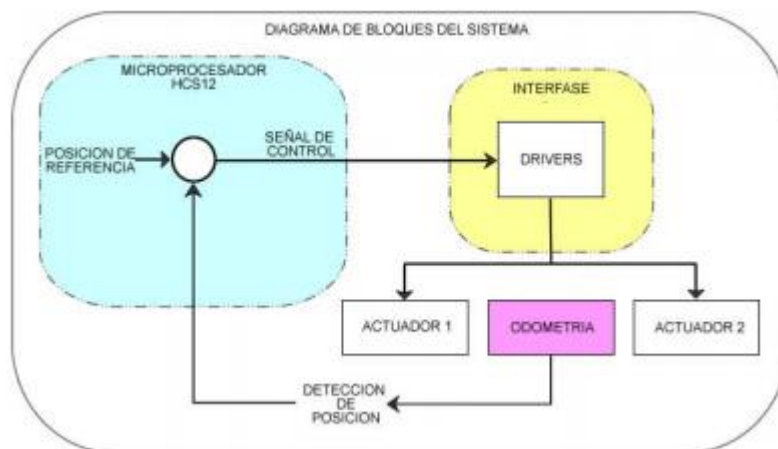


Figura 25. Esquema odometrico implementado.

En el esquema de la figura 25 se muestra la función de la odometría en el sistema de control del robot. La posición censada es comparada con una de referencia y los resultados de esta son procesados para ejecutar acciones en los actuadores.

La información brindada por los sensores viene en 2 variables: La posición y la orientación, la primera es tomada por el mouse óptico, donde se lleva un “Conteo” de la distancia recorrida, la segunda, se obtiene a partir de un compás magnético el cual proporciona el ángulo de orientación del robot respecto al norte geográfico.

El sistema de localización implementa mediante mouse óptico y compa magnético se constituye en una alternativa de bajo costo y alto desempeño en aplicaciones basadas en suministrar la posición y orientación del robot en cada instante.

En el trabajo titulado “Sistema de navegación para un robot limpiador de piscinas”⁴² se desarrolló un sistema de navegación utilizando la técnica de mínimos cuadrados ponderados, que combina las medidas de un acelerómetro tri-axial y un giroscopio, con la solución de las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento robot para estimar su posición, velocidad y orientación.

El robot que se automatiza es el Prowler 720 de Kreepy Krauly (Figura 26) que solo requiere una conexión eléctrica y su movimiento es aliatorio, movido por un solo motor que transmite el movimiento a una de las orugas y a la vez activa el sistema de succión.

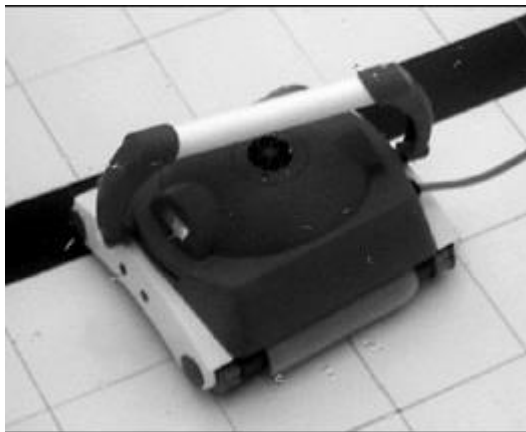


Figura 26. Robot Prowler 720 de Kreepy Krauly.

La forma que se diseñó y se probó el sistema de navegación se observa en la figura 27.

⁴² CARDONA RENDÓN, LORENA, ORTIZ VALENCIA, PAULA ANDREA, BOTERO VALENCIA, JUAN SEBASTIÁN. Sistema de navegación para un robot limpiador de piscinasTecnura [en línea] 2014, 18 (Enero-Marzo): Disponible en: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/6955/8613>

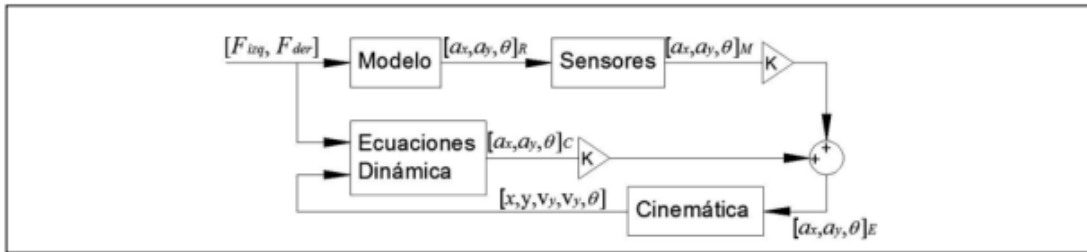


Figura 27. Diagrama de bloques del sistema de navegación aplicado al modelo virtual del robot.

Se construyó un modelo del robot para poder hacer simulaciones, adicionalmente se desarrollaron ecuaciones de la dinámica del robot, lo que permitirá predecir valores en su aceleración y orientación.

Para obtener el modelo del robot, se recurrió al modelado en 3D con el software Autodesk Inventor y con la ayuda de un archivo de ensamble se generaron las relaciones entre las partes para determinar sus grados de libertad.

A partir de este modelaje fue posible la representación del sistema en el software Simulink, (el cual se puede apreciar en la figura 28) usando un enlace entre los dos programas llamado SimMechanics Link.

A partir de las ecuaciones dinámicas y cinemáticas se podrán establecer los valores de ganancia y valores relevantes para el proyecto como el momento de inercia así como la aplicación de la técnica de estimación por mínimos cuadrados ponderados para calcular y predecir los valores de la velocidad y la posición.

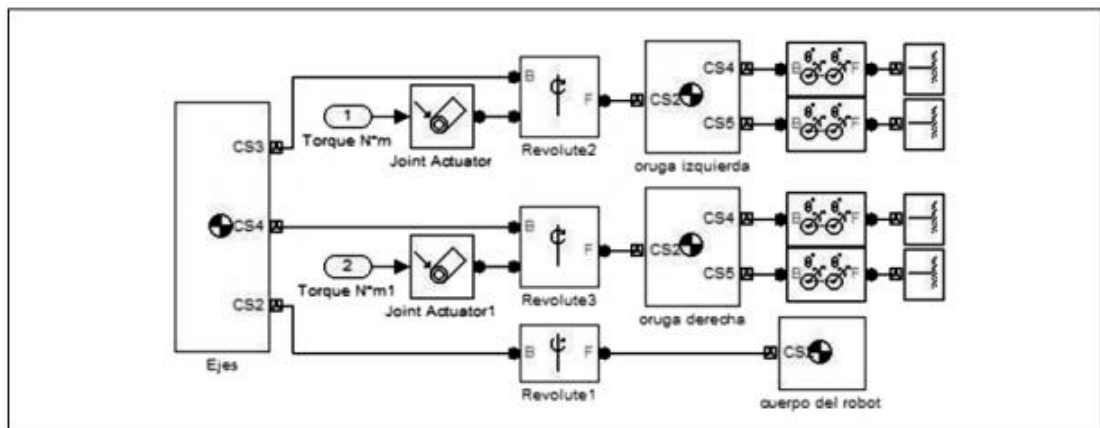


Figura 28. Modelo del robot en Simulink.

La integración de las ecuaciones dinámicas del robot, el modelamiento de los sensores (teniendo en cuenta su ruido), el estimador (por mínimo cuadrados ponderados) y la integración del

resultado para obtener la posición y la velocidad del robot son implementados en Simulink así como se aprecia en la figura 29.

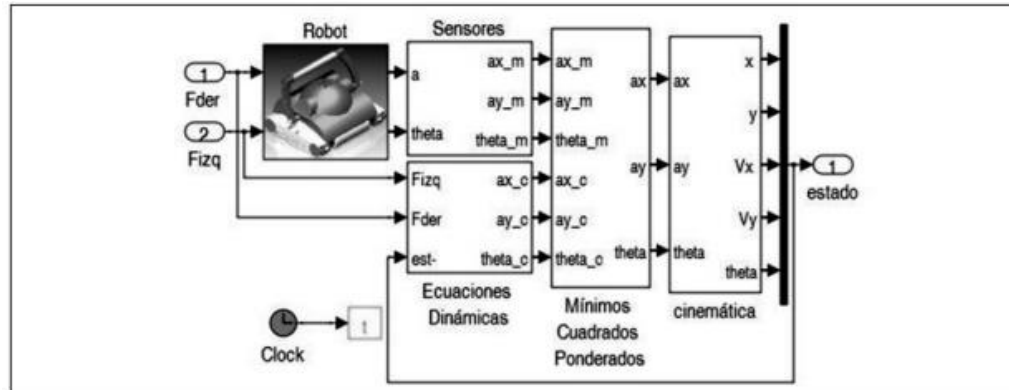


Figura 29. Diagrama de bloques construido en Simulink para la simulación del sistema de navegación.

El sistema de navegación comprobó si los sensores seleccionados gracias a las ecuaciones descritas, la dinámica del vehículo, la técnica de mínimos cuadrados ponderados, permiten lograr una estimación en tiempo real del comportamiento del robot limpiador de piscinas.

En el trabajo titulado “Vehículo robótico: autónomo y tele operado con una PDA”⁴³, ver figura 30; es utilizado un vehículo robótico de cuatro ruedas para hacer recorridos sistemáticos por medio de un panel de control con una interfaz gráfica de usuario (GUI), programada en un asistente digital personal (PDA) transmitidos al vehículo en una serie de puntos que forman el recorrido deseado.

⁴³ Villa-Medina, Francisco, Gutiérrez, Joaquín, & Porta-Gándara, Miguel Ángel. (2009). Vehículo robótico: autónomo y teleoperado con una PDA [En línea]. *Ingeniería mecánica, tecnología y desarrollo*, 3(2), 46-54. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-73812009000100002&lng=es&tlng=es.



Figura 30. Vehículo Robótico.

Además el vehículo robótico puede ser operado de manera manual, convirtiéndose en un control remoto convencional. El cambio de un modo al otro se puede hacer en cualquier momento.

El sistema cuenta con un algoritmo de navegación basado en la información de un compás electrónico y un codificador óptico, para evitar colisiones con objetos en la ruta del vehículo cuenta con un sensor ultrasónico. La comunicación entre el robot y el panel de control es un enlace bidireccional de radiofrecuencia.

Para establecer la comunicación inalámbrica se usa un radio módem marca MaxStream modelo 9XTend a una frecuencia de 900 MHz, que permite tener una cobertura de hasta 64 km, de acuerdo a la potencia programable de salida desde 1 mW hasta 1 W.

El codificador óptico permite medir la velocidad y estimar el desplazamiento. La velocidad del movimiento es directamente proporcional a la frecuencia de la señal generada por el codificador.

Al conocer a cuantos pulsos equivale una revolución de la llanta (R) y al medir entonces en un cierto periodo el número de pulsos de salida del codificador (F), y dado que se conoce el perímetro (P) de la llanta, se puede calcular la velocidad (V):

$$V = \frac{P}{R} F$$

Con el tiempo de muestreo (t), se estima la distancia (d) recorrida por el vehículo:

$$d = Vt$$

La orientación del vehículo es estimada por un compás digital marca PNI modelo Vector 2X, capaz de medir el campo magnético en un solo plano. Para calibrar el sensor el plano debe estar nivelado. La resolución es de 1°, con una precisión de $\pm 2^\circ$, y una frecuencia de muestreo de 5 lecturas por segundo. Debido a que la salida del sensor varía por la influencia de metales, este fue colocado en un poste plástico de 0.2 m de altura sobre la plataforma del vehículo.

El programa al que el vehículo robótico dispone a recorrer es introducido mediante una interfaz gráfica con la finalidad de simplificar la generación de comandos de control. En el espacio virtual

como se muestra en la figura 31, esta es representada la zona de trabajo en donde por medio del lápiz es dibujado el recorrido y la orientación de desplazamiento del vehículo.

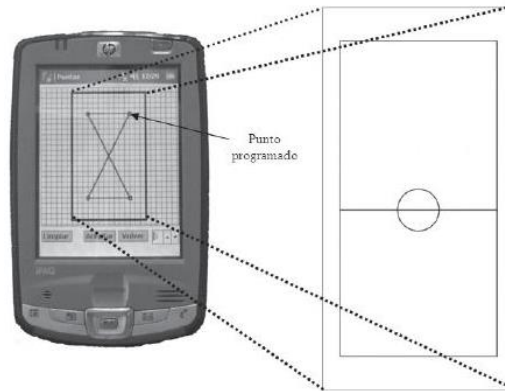


Figura 31. Espacio virtual en relación al espacio a recorrer por el vehículo.

Al introducir el patrón a seguir el controlador toma las acciones necesarias y activa las ruedas para poder andar, teniendo en cuenta en todo momento la información del codificador óptico, compas electrónicos y dando prioridad al sensor ultrasónico el cual está ubicado al frente del vehículo. Un ejemplo de trayectoria hecho por el vehículo se puede apreciar en la figura 32.

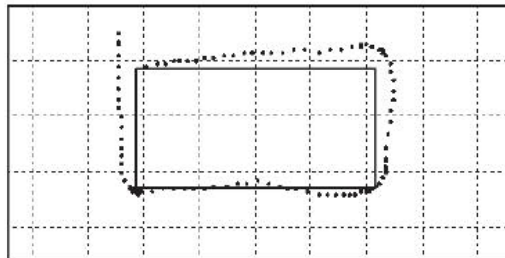


Figura 32. Trayectoria de vehículo robótico.

La línea continua de color negro indica el dibujo introducido en el panel de control de usuario (GUI) y la línea punteada indica el recorrido del vehículo.

La configuración que permite alternar el modo autónomo y el modo de operación manual es de gran ayuda en diferentes aplicaciones.

En el trabajo titulado “Orientación por luminosidad diferencial. Detector y seguidor inteligente”⁴⁴ se describe el método para la detección, orientación y seguimiento por luminosidad diferencial inteligente. Este trabajo es un prototipo hecho de materiales reciclables como se muestra en la figura 33.



Figura 33. Prototipo.

Un circuito capta la diferencia de luminosidad por medio de cuatro sensores ubicados en los cuadrantes de un plano y un sensor central (ver figura 34), esta información es enviada a un controlador que activa un mecanismo de giro de dos grados de libertad. Este mecanismo orienta al plano de forma perpendicular a los rayos incidentes ocurriendo un seguimiento en la trayectoria de movimiento.

La luminosidad captada por los sensores son transmitidos como señales eléctricas de manera independiente, el programa de control compara las señales provenientes del sensor de referencia con los otros cuatro sensores y es enviada de manera digital a un mecanismo de giro.

⁴⁴ Kang Cardozo, D., & Martínez Jara, E. (2014). Orientación por luminosidad diferencial. Detector y seguidor inteligente. [Internet]. FPUNE Scientific, 6(6). Disponible de: http://une.edu.py:82/fpune_scientific/index.php/fpunescientific/article/view/118

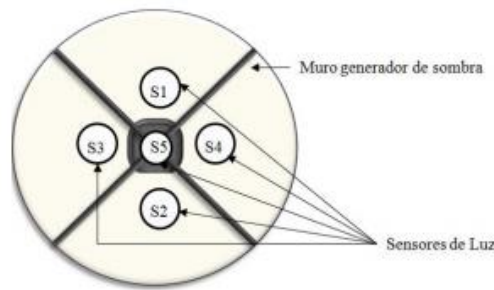


Figura 34. Disposición de los sensores de luminosidad.

El programa es realizado en lenguaje C y sigue una rutina de control de frecuencia programable, el seguimiento es realizado por radiación solar directa y con ayuda del programa control se envía la secuencia de bits correspondientes a los motores para ubicar el panel de manera perpendicular a los rayos del sol. Además de poner límites al movimiento de los paneles fijando las inclinaciones máximas, tanto para el movimiento acimutal (90°) como el de elevación (180°). Al llegar el fin del día se ubica en posición (0,0), la cual es la posición en que el seguidor solar ofrece menor resistencia a los vientos. Se dice que el seguidor está en posición 0,0 cuando el plano iluminado se encuentra en posición horizontal. Al amanecer retorna al este y comienza su rutina nuevamente. Además, el programa cuenta con un botón de seguridad que permite al usuario ubicar el seguidor en posición 0,0 en caso de emergencia.

Gracias a la programación se demostró tener una sensibilidad que permite su normal funcionamiento tanto para luz en un ambiente cerrado como para luz solar, con la intervención del seguidor solar se demostró que el rendimiento de la célula fotovoltaica ha aumentado el rendimiento en un 30%.

En la noticia titulada “Crearon un robot que lleva tus cosas y te sigue”⁴⁵ se muestra un pequeño sistema llamado Budgee, mostrada en la figura 30, que sigue a las personas mediante un transmisor, es capaz de cargar hasta 22 kilogramos de peso y puede funcionar de 6 a 8 horas gracias a sus baterías recargables.

⁴⁵ Five Elements Robotics. Crearon un robot que lleva tus cosas y te sigue [Internet]. Soy Chile. Disponible en: <http://www.soychile.cl/Santiago/Tecnologia/2014/01/08/224530/Crearon-un-robot-que-lleva-tus-cosas-y-te-sigue.aspx>



Figura 35. Robot seguidor de personas.

La firma Five Elements Robotics con el objetivo de hacer la vida más sencilla al momento de cargar con bolsas, mochilas o cualquier otra carga que resulta pesada o molesta, creó un sencillo sistema capaz de seguir y cargar peso, además es plegable para poder guardarlo fácilmente después de terminar su labor, adicionalmente el robot se conecta al Smartphone mediante una aplicación que permite manejarlo de modo manual o automático.

En la noticia titulada “Hop! La maleta robótica Bluetooth que sigue a su dueño”⁴⁶ muestra una maleta inteligente llamada Hop capaz de moverse por sí sola y seguir el rastro del usuario por medio de bluetooth asociada a un teléfono celular como se muestra el figura 36.



Figura 36. Hop!.

⁴⁶ García Rodrigo. Hop! La maleta robótica Bluetooth que sigue a su dueño [Internet]. Clipset. Disponible en: <http://clipset.20minutos.es/hop-la-maleta-robotica-bluetooth-que-sigue-a-su-dueno/>

La maleta es ideal para aeropuertos, estaciones y demás lugares de viaje, utiliza un sistema de ruedas de oruga motorizadas propulsadas por aire comprimido.

Cuenta con un conjunto de tres receptores con los cuales puede triangular su posición y localizar con precisión el camino a seguir. Así, conectada al móvil bluetooth es como sigue los pasos del propietario a una distancia constante. Si el sistema se pierde envía una señal vibratoria al móvil.

En la noticia titulada “Silla de ruedas robótica que sigue al acompañante”⁴⁷ muestra un sistema implementado en una silla de ruedas que permanece junto al acompañante y lo sigue como se muestra en la figura 37.



Figura 37. Silla de ruedas robótica.

Este sistema es capaz de detectar hacia donde se va a dirigir intentando adivinar su próximo cambio de dirección. Esto lo hace fijándose en la dirección a la que apuntan los hombros de esa persona.

En la actualidad está siendo probada en centros de salud donde muchas veces no hay mucho personal para empujar una silla de ruedas. Como ventajas, una sola persona puede hacerse cargo hasta cuatro sillas que lo seguirán si chocar entre ellas.

En la noticia titulada “Presentan carrito de compras inteligente”⁴⁸ presentan un carro de mercado hecho por la empresa de tecnología Microsoft que ayuda a los compradores a encontrar los productos en la tienda y poder pagarlos sin necesidad de hacer fila por medio de una pantalla como se muestra en la figura 38.

⁴⁷ Silla de ruedas robótica que sigue al acompañante [Internet]. Robotica Street. Disponible en: <http://www.roboticastreet.com/silla-de-ruedas-robotica-que-sigue-al-acompanante/>

⁴⁸ Presentan carrito de compras inteligente [Internet]. <http://expansion.mx/>. Disponible en: <http://expansion.mx/tecnologia/2008/01/14/presentan-carrito-de-compras-inteligente>. Consultado [Enero 29 del 2017]

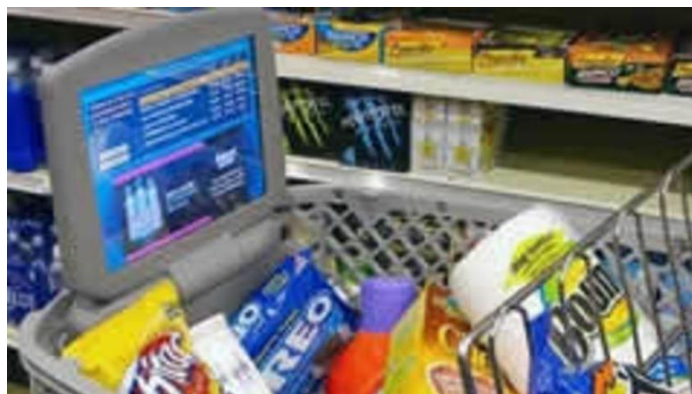


Figura 38. Carro de compras inteligente.

El invento está próximo a ser lanzado al mercado, funcionara con los clientes que tengan una tarjeta de fidelidad con los supermercados, podrán ingresar a un sitio de Internet desde sus casas y hacer su lista de compras. Cuando lleguen a la tienda y pasen la tarjeta en la consola del carrito del supermercado, aparecerá la lista.

Mientras los compradores escaneen esos productos y los coloquen en el carro, la consola mostrara el precio y la cuenta, además descontara los artículos de la lista. El sistema también es capaz de mostrar publicidad.

En el artículo titulado “Carritos de la compra inteligentes”⁴⁹ se muestra un carro de mercado que tiene incorporada una cámara Kinect como se muestra en la figura 39 para seguir al usuario por el supermercado.



Figura 39. Carro de mercado con Kinect.

⁴⁹ Carritos de la compra inteligentes [Internet]. <https://www.sabrosia.com/>. Disponible en: <https://www.sabrosia.com/2012/06/carritos-de-la-compra-inteligentes/>. Consultado [Enero 29 del 2017]

Además la cámara es capaz de reconocer que alimentos se están introduciendo al carro, esto permite la posibilidad de que el carro emita una alerta cuando se introduce un producto que no está previamente establecida en una lista definida por el usuario. Reconoce si los alimentos son orgánicos o no para tener la posibilidad de ajustarse a dietas, además tiene un sistema de reconocimiento de voz para interactuar con él.

1.6 DISEÑO METODOLÓGICO

1.6.1 DISEÑO METODOLOGICO PRELIMINAR

El diseño preliminar del proyecto contempla los siguientes ítems:

- a) Investigación de proyectos relacionados, en donde se puedan identificar aspectos importantes y/o relevantes para la guía del proyecto, como: sistemas de seguimientos a personas, sistemas de referencia y robótica móvil, lo más importante de este ítem es entender cómo se solucionan los objetivos propuestos y los problemas que se presentaron en los proyectos investigados, con esto, analizaran las mejores soluciones, para tener un punto de inicio al proyecto.
- b) Estudio de variables de movilidad para un carro de mercado estándar, se establecerán los aspectos a tener en cuenta en el uso de uno de estos, como el tamaño de un carro de mercado, peso aproximado de un mercado, velocidad media a la que se desplaza una persona en un almacén de cadena y tiempo de uso de un carro.
- c) Diseño mecánico del carro de mercado estándar, tendrá en cuenta todos los aspectos tanto como selección del carro, cálculos mecánicos e implementación de componentes necesarios para la movilidad mecánica del carro de mercar.
- d) Análisis de comunicación entre la referencia y el carro, se tendrá en cuenta los diferentes tipos de comunicación investigados previamente y se harán pruebas para seleccionar el indicado acorde a las necesidades del proyecto.
- e) Diseño electrónico del sistema de referencia y del carro de mercado, incluirán diseños y elaboración de circuitos, de potencia y de control, para la movilidad del carro de mercado y para el correcto funcionamiento del sistema de referencia.
- f) Construcción del sistema de referencia, contempla aspectos como el tamaño, ubicación y funcionalidad del mismo, teniendo en cuenta el tamaño del circuito y de batería.

- g) Comunicación eficaz entre el sistema de referencia y el carro, se implementara el sistema de control correspondiente para el control de velocidad del carro respecto al sistema de referencia.
- h) Implementación de todos los sistemas, contempla la integridad de todos los sistemas, tanto mecánico, electrónicos y de control, para que todos funcionen de la manera deseada.
- i) Corrección y solución de imprevistos, se tendrán en cuenta aspectos como la velocidad, el peso máximo transportado y la distancia.

2. DISEÑO MECANICO

Si bien es preciso estimar de manera cercana, al inicio, el peso total del carro considerando: el peso propio del carro de mercado estándar, motores, baterías, circuito, entre otros y estimando un mercado cercano a los 80 kilogramos, se considera una aproximación de estas como condiciones iniciales.

Determinar de manera exacta las condiciones de uso (velocidad, aceleración, potencia, entre otras) en las que un carro de mercado estándar será usado es bastante complicado, sin embargo se puede hacer una aproximación, teniendo en cuenta condiciones del carro de mercado estándar seleccionado.

2.1 Condiciones iniciales

2.1.1 Selección del carro de mercado

Para la selección del carro de mercado se toma de guía la mayoría de los carros actuales usados en los almacenes de cadena, aunque es cierto que en algunos lugares se han venido cambiando o renovando los carros tradicionales de alambre por carros de mercar de plástico ya sea por ecología o por modernización ya que carros de alambre suelen oxidarse con el tiempo, aun así la gran mayoría sigue optando por el carro tradicional de alambre (anexo D).

Por esta razón se opta por implementar el sistema de movilidad en este tipo de carro agregando la facilidad que conlleva realizar las modificaciones en el alambre ya que es más fácil comparado al plástico o al polipropileno porque para realizar una modificación en el de alambre se pueden realizar diferentes técnicas como soldadura o el cambio de forma por medio del calor cosa que no es de facilidad en uno de otro material (anexo E), de igual manera esta familia de carros tienen variedad de tamaños que depende del almacén de cadena o en ocasiones dan a elegir al consumidor diferentes opciones para que el escoja según el mercado a comprar por tanto se selecciona el carro de tamaño medio.

2.1.2 Selección Tipo de Dirección

Para la selección del tipo de dirección se usa un cuadro comparativo destacando las características de facilidad de implementación, estabilidad y movimiento en diferentes terrenos; En la tabla 2 están marcadas con una (x) los tipos de dirección que cumplen con este criterio, de acuerdo a las necesidades del proyecto.

	Facilidad de implantación	Estabilidad	Movimiento en diferentes terrenos
Ackerman		X	
Triciclo clásico	X		
Pistas de deslizamiento		X	X
Locomoción mediante patas			X
Diferencial	X	X	

Tabla 2. Selección de tipo de movimiento.

Para la selección del tipo de movilidad en el carro de merca se piensa en realizar los menores cambios mecánicos posibles, aprovechando componentes mecánicos ya instalados en los carros de merca como por ejemplo sus dos ruedas locas en la parte delantera del carro las cuales ayudan a la dirección y estabilidad del mismo. Por este motivo se descartan el movimiento ackerman y locomoción mediante patas, la dirección diferencial y el triciclo clásico encajan en la mejor opción de implementación para el carro ya que permite realizar giros sin necesidad de realizar grandes cambios mecánicos, pero el de tipo diferencial proporciona mayor estabilidad ya que se aprovecharían las dos ruedas locas que vienen normalmente en un carro de mercado, en sentido de lo anterior se opta por trabajar por movimiento tipo diferencial.

2.1.3 Cálculo velocidad, potencia y torque.

Velocidad: Esta limitada por la velocidad máxima que una persona promedio se desplaza en una marcha normal. En la tabla 4 se pueden observar las velocidades promedio medidas para personas divididas por género y por la edad⁵⁰.

⁵⁰ Desplazamientos a pie [Internet]. upcommons.upc.edu. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3316/55865-6.pdf?sequence=6>

Edad y sexo	Velocidad (km/h)
Hombres menores de 55 años	5,94
Hombres mayores de 55 años	5,47
Mujeres menores de 55 años	4,93
Mujeres mayores de 55 años	4,72
Mujeres con niños pequeños	2,52
Niños de 5 a 10 años	4,07
Adolescentes	6,48

Tabla 3 Velocidades según edad y sexo.

Es de resaltar que en la tabla 3 el valor de los Niños de 5 a 10 años que se muestra en la tabla no fue tomada en cuenta en el proyecto, ya que la utilización del carro de mercado es inadecuado para personas de esta edad pues bien, un reciente estudio realizado en Estados Unidos pone de manifiesto que el carro de la compra es un elemento desde el que habitualmente se caen muchos niños, de los cuales buena parte de ellos se hacen mucho daño⁵¹. Cabe aclarar que en Colombia se han encontrado evidencias de este tipo de estudios.

Una de las funciones del carro de mercado es brindar un servicio o facilitar una tarea para personas de delimitada movilidad, por esto se debe tener en cuenta que la velocidad de estas personas varía según la dificultad de su movilidad, por esto se toma un valor medio de la tabla ya que el carro no debe andar muy lento y no es necesario que ande demasiado rápido, por esto se toma el valor de mujeres menores de 55 que es igual a 4.93 km/h.

$$V = 4.93 \frac{Km}{h} = \frac{1000 m}{1 Km} \frac{1 h}{3600 s} = 1.36 m/s$$

Peso: El peso total está establecido por: La capacidad máxima del carro de mercado seleccionado, y el peso del carro que cuenta con el peso de este más lo que se le agregara (motores, baterías, circuito, sensores, el peso propio del carro, entre otros). Además para confirmar el peso del carro, se crea un CAD del carro de mercado donde tiene como ventaja que según el material se muestra el peso aproximado del carro, esto se puede ver en el anexo E (Propiedades del carro de mercado en Solidworks), según este software tiene un peso de 19.5 kg muy aproximado al peso de 20 kg previamente establecido, se opta trabajar con 20 kg:

- Capacidad: 80 kg.
- Peso carro: 20 kg.

Total = W = 100 kg

⁵¹ Bebes y más [Internet], El carro de la compra, otro lugar desde el que pueden caer (y hacerse mucho daño), [En línea]. 2014, <https://www.bebesymas.com/consejos/el-carro-de-la-compra-otro-lugar-desde-el-que-pueden-caer-y-hacerse-mucho-dano>, [consultado 30 marzo de 2016].

En newtons:

$$Capacidad = (80 \text{ Kg}) \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) = 784.8 \text{ N}$$

$$Peso \text{ carro} = (20 \text{ Kg}) \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) = 196.2 \text{ N}$$

$$W = 981 \text{ N o } 100 \text{ Kg}$$

Para el diseño de máquinas es necesario definir un factor de seguridad que por las condiciones dadas por el proyecto se puede definir en aproximadamente 1.3

$$n_d = 1.3$$

Es decir que el carro deberá mover en total un peso aproximado de:

$$W_t = (1.3)(981 \text{ N}) = 1275.3 \text{ N o } 130 \text{ Kg}$$

Aceleración: Esta va ligada al tiempo en el que se desea alcanzar la velocidad máxima, esta será de 3 segundos, ya que en condiciones normales en la que se merca hay pocos periodos de tiempo en el que se alcanza la velocidad máxima y constante, por no es necesario que el sistema responda “rápidamente”.

$$a = \frac{V_f - V_i}{t} = \frac{1.8 \frac{m}{s} - 0}{3 \text{ s}} = 0.6 \text{ m/s}^2$$

Donde

V_f = Velocidad final

V_i = Velocidad inicial

t = Tiempo

$V_i = 0$, por que el sistema experimentara la mayor aceleración cuando el carro este detenido completamente.

Fuerza equivalente para acelerar y mover el peso total: El peso total estimado final del carro es de 130 kgs, entonces:

$$F_{equ} = (W_t)(a)$$

$$F_{equ} = (130 \text{ kg}) \left(0.6 \frac{m}{s^2} \right) = 78 \text{ N}$$

Donde

W_t = Peso del carro

a = aceleración

Teniendo en cuenta el peso total:

$$W = 981 \text{ N o } 100 \text{ Kg}$$

Se suman las fuerzas calculadas por aceleración y peso para saber la fuerza total que debe mover el carro.

$$F_{ueza \text{ Total}} = F_t = F_{equ} + W$$

$$F_t = 78 + 981 = 1059 \text{ N}$$

Potencia: Con la fuerza total y la velocidad máxima se puede calcular:

$$P = (F_t) (V) = (1059 \text{ N}) \left(1.36 \frac{m}{s} \right) = 1440.24 \text{ W}$$

Donde

V = velocidad

Para calcular las pérdidas por fricción es necesario tener en cuenta los materiales que están en contacto. El material de las ruedas es caucho por su alto coeficiente de fricción al cemento y así evitar deslizamientos, como se muestra en la figura 40, es de aclarar que el tamaño de las llantas se escoge tomando de medida las delanteras ya que unas llantas muy pequeñas o grandes comparadas a las delanteras afectarían en la estabilidad del carro.



Figura 40. Rueda del carro.

El material donde estará funcionando el carro son los pisos que comúnmente se encuentran en los supermercados como baldosas o concreto, por esto se toma un valor de fricción de la figura 41.

Coefficientes de rozamiento en giro:

Acero sobre acero: 0.0005

Madera sobre acero: 0.0012

Madera sobre madera: 0.0015

Hierro sobre hierro: 0.00051

Hierro sobre granito: 0.0021

Caucho sobre hormigón: 0.015-0.035

Figura 41. Coeficientes de rozamiento en giro⁵²

⁵² Diferencias y similitudes entre el rozamiento deslizante y el rozamiento en giro [Internet], Universidad de castilla – La Mancha, www.uclm.es [En línea],

Se toma el coeficiente de fricción de caucho sobre hormigón:

$$\mu_s = 0.035$$

$$U_e = P \mu_s$$

$$U_e = (1440.24)(0.035) = 50.4 \text{ W}$$

Donde

μ_s = Coeficiente de fricción estático

U_e = Perdidas por fricción

Con esto se calcula la potencia total:

$$P_t = P + U_e = 1440.24 + 50.4 = 1490.64 \text{ W}$$

Como se van a usar dos motores, una para cada rueda se divide la potencia:

$$P_{\text{cadamotor}} = \frac{1490.64 \text{ W}}{2} = 745.32 \text{ W}$$

Se hace la conversión de watts a HP

$$P_t = (745.32 \text{ W}) \left(\frac{1 \text{ HP}}{745 \text{ W}} \right) = 1.0004 \text{ HP}$$

Además sabiendo que el radio de las ruedas son:

$$r = 10 \text{ cm}$$

$$r = 0.1 \text{ m}$$

Y aplicando la fórmula de velocidad angular:

$$w = \frac{V}{r}$$
$$w = \frac{1.36 \text{ m/s}}{0.1 \text{ m}} = 13.6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Sabiendo que:

$$P = T w$$
$$T = \frac{P}{w} = \frac{745.32 \text{ W}}{13.6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 54 \text{ Nm}$$

Donde

T = Toque

P = Potencia

w = velocidad angular

Calculo de potencia y torque por diagrama de cuerpo libre

Considerando la figura 42 como una de las vistas del carro, vista frontal, A y B como puntos de apoyo, F la fuerza empleada por el peso del carro, d la distancia entre la fuerza y uno de los puntos de apoyo y T el torque.

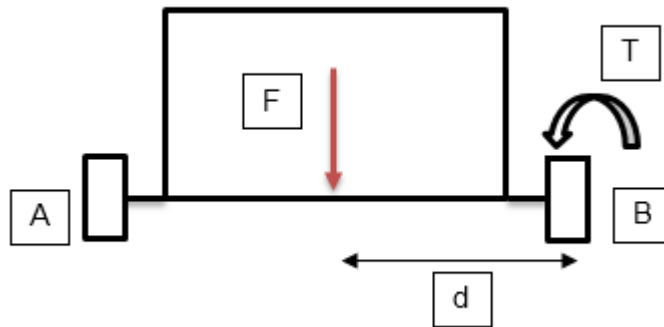


Figura 42. Diagrama de cuerpo libre.

Donde

$$F = 981 \text{ N o } 100 \text{ Kg}$$

$$d = 31 \text{ cm o } 0.31\text{m}$$

Se considera mover la fuerza F a uno de los puntos de apoyo, provocando así un momento de fuerza, para calcular así el torque presentado en uno de estos puntos, representado así en la siguiente formula:

$$T = F d$$

$$T = (981 \text{ N}) (0.31 \text{ m}) = 304.1 \text{ Nm}$$

Donde

F = fuerza por el peso del carro

d = distancia entre la fuerza y un punto de apoyo

Y aplicando nuevamente la fórmula de Potencia y torque:

$$P = T * w$$

$$P = (304.1 \text{ Nm}) \left(13.6 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = 4135.76 \text{ W}$$

Como en el método anterior, como se van a usar dos motores, una para cada rueda se divide la potencia:

$$P_{cadamotor} = \frac{4135.76 \text{ W}}{2} = 2067.88 \text{ W}$$

Se hace la conversión de watts a HP

$$Pt = (2067.88 \text{ W}) \left(\frac{1 \text{ HP}}{745 \text{ W}} \right) = 2.7 \text{ HP}$$

Se escoge la mayor potencia, ya que abarca la otra potencia:

$$Pt = 2067.88 \text{ W}$$

Para calcular la potencia eléctrica se usa la siguiente analogía:

$$Pe = 2.7 \text{ HP} \frac{746 \text{ W}}{1 \text{ HP}} = 2014.2 \text{ kW}$$

Para determinar el tiempo en que dura el carro en funcionamiento es necesario determinar las baterías, para esto se selecciona un voltaje de 24 V ya que las baterías que se encuentran en el mercado son de 12v, así pues uniendo dos baterías se trabaja a 24 V. Sabiendo esto se determina la corriente máxima utilizando la potencia eléctrica .

$$P = V * I$$

Donde

P = Potencia

V = Voltaje

I = Corriente

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{2014.2 \text{ w}}{24 \text{ V}} = 83.9 \text{ A}$$

Se seleccionan las baterías de la figura 43.

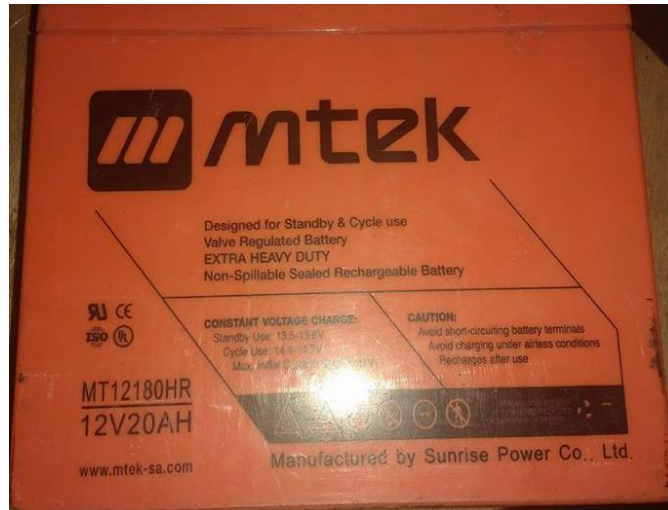


Figura 43. Baterías

Ya que la corriente que la corriente que soporte la batería es 20AH se hace la conversión, para hallar el tiempo de funcionamiento:

$$t = \frac{20 A * 1 h}{83.9 A} = 0.23 h \text{ o } 14.3 m$$

Aproximadamente tendrá una autonomía de 14.3 minutos a máxima carga con un factor potencia de 1.3.

2.1.4 Elección motores

Una vez se haya los datos como potencia, rpm y conociendo que tendrá dirección diferencial se elige el motor, como primer paso se elige el tipo de motor a usar comparando ventajas y desventajas de cada una de ellas.

	TORQUE	RPM	COSTE	IMPLEMENTACION
Motor Paso a Paso	Alto	Bajo	Alto	Medio
Servo Motor	Alto	Muy Bajo	Bajo	Bajo
Motor Reductor	Muy Alto	Bajo	Medio	Alto
Motor DC	Muy Bajo	Alto	Bajo	Medio

Tabla 4 Ventajas y Desventajas de Cada Tipo de Motor.

Observando la tabla 4 al final se opta por un motor DC con reductora como el de la figura 4, debido a que cumple con todos nuestros requisitos aunque tenga un valor más costoso que otro tipo de motor pero las ventajas que ofrecen hacen de este motor el adecuado ya que lleva un buen torque una de las ventajas más sobresalientes y que su velocidad está en el rango necesario para lograr el seguimiento al usuario.

2.1.5 Cálculo de esfuerzo en el eje

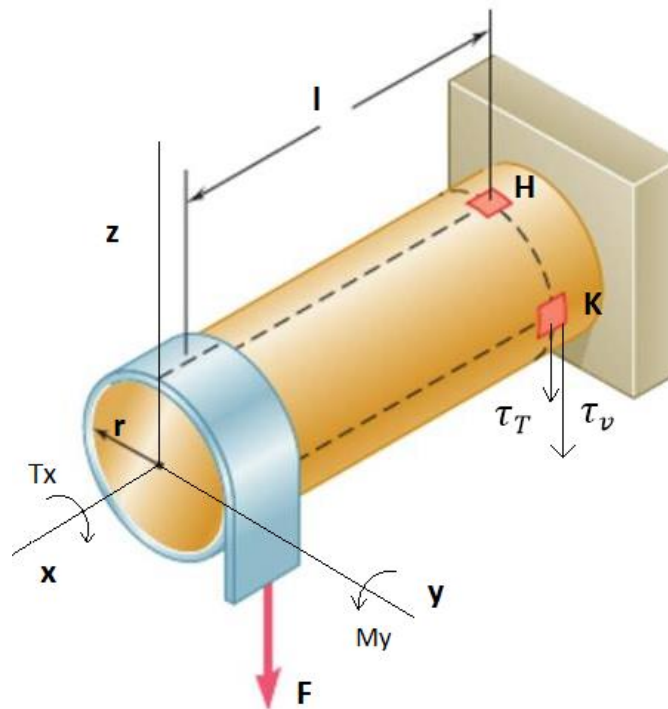


Figura 44. Diagrama de cálculo de esfuerzo en eje.

Se sabe el largo del eje $L = 2 \text{ cm}$ y el radio igual a 1 cm . Donde la fuerza varía según si el carro está desocupado o está lleno por lo que se tomarán los dos casos:

Se realiza el corte transversal del eje, luego procedemos a hallar su área y su I para luego hallar su momento polar J :

$$A = \pi(0,01\text{m})^2$$

$$A = 3,1415 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_0 = \frac{\pi}{4} r^4$$

$$I_0 = \frac{\pi}{4} 0,01\text{m}^4$$

$$I_0 = 2,5\pi \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$J = 2 I = 2 (2,5 \pi \times 10^{-9} \text{ m}^4)$$

$$J = 5 \pi \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

Luego se halla su torque en el plano X, esto se hace con la fuerza máxima por lo que se usa 981 N para los 100 kilos .

$$Tx = r \cdot F$$

$$Tx = 9.81 \text{ n.m}$$

Luego el momento en Y ya que causa en el punto h un momento flector, trasladamos la fuerza:

$$My = 981 \text{ N} \cdot 0,02 \text{ m} = 19,62 \text{ N.m}$$

$$M = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$M = (0,02 \text{ m } \hat{i} + 0,01 \text{ m } \hat{j})(-981\text{N } \hat{K})$$

$$M = 19,62 \hat{j} - 9.81 \hat{i}$$

Donde I es el momento en el plano x, J en el plano y.

Ahora se calculan esfuerzos normales en el punto h donde no hay fuerza axial y solo momento en Y:

$$\sigma_h = \frac{MC}{I} = \frac{19,62 \text{ N m} \cdot 0,01 \text{ m}}{2,5 \pi 10^{-9} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_h = 24,98 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo en el punto k = 0 ya que está en el eje neutro

$$\sigma_K = 0$$

Por último se calcula los esfuerzos cortantes empezando en el punto h donde solo hay torque en x.

$$\tau_h = \frac{T r}{J} = \frac{9,81 \text{ Nm} \cdot 0,01 \text{ m}}{5\pi \cdot 10^{-9} \text{ m}^4} = 6,24 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{xy} = 6,24 \text{ Mpa}$$

Ahora en el punto K donde es el máximo cortante por el área transversal:

V= carga transversal o F

T= espesor del área del diámetro

$$\tau_K = -6,24 \text{ Mpa} - \frac{VQ}{IT}$$

Para calcular Q tenemos que:

$$Q = A \bar{y}$$

$$Q = \frac{\pi r^2}{2} \cdot \frac{4 r}{3 \pi}$$

Lo anterior según las tablas geométricas de secciones.

$$Q = \frac{2}{3} (0,01 \text{ m})^3$$

$$Q = 6,6666 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

Para luego reemplazarla en el cálculo del esfuerzo en k que es donde está más sometido a esfuerzo cortante:

$$\tau_K = -6,24 \text{ Mpa} - \frac{981 \text{ N} \cdot 6,6666 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3}{2,5\pi \cdot 10^{-9} \text{ m}^4 \cdot 0,02 \text{ m}}$$

$$\tau_K = -6,24 \text{ Mpa} - 4,159 \text{ Mpa} = -10,399 \text{ Mpa}$$

AHORA SE REALIZA LO MISMO PERO CON EL PESO DEL CARRO SOLAMENTE P= 20 kilos y una F de 196.2 N ya que es un esfuerzo variable, va desde el solo peso del carro hasta el peso máximo que soporta el carro.

$$Tx = r \cdot F$$

$$Tx = 1.96 \text{ n.m}$$

Luego su momento en Y ya que causa en el punto h un momento flector, trasladamos la fuerza:

$$My = 196 \text{ N} \cdot 0,02 \text{ m} = 3,924 \text{ N.m}$$

$$M = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$M = (0,02 \text{ m} \hat{i} + 0,01 \text{ m} \hat{j})(-196 \text{ N} \hat{k})$$

$$M = 3,92 \hat{j} - 1,96 \hat{i}$$

Donde I es el momento en el plano x, J en el plano y.

Ahora se calculan esfuerzos en el punto h donde no hay fuerza axial:

$$\sigma_h = \frac{MC}{I} = \frac{3,924 \text{ N.m} \cdot 0,01 \text{ m}}{2,5 \pi 10^{-9} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_h = 4,996 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo en el punto k = 0 ya que está en el eje neutro

$$\sigma_K = 0$$

Por último se calcula los esfuerzos cortantes empezando en el punto h donde solo hay torque en x

$$\tau_h = \frac{Tr}{J} = \frac{1.96 \text{ Nm} \cdot 0,01 \text{ m}}{5\pi \cdot 10^{-9} \text{ m}^4} = 6,24 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{xy} = 1,24 \text{ Mpa}$$

Ahora en el punto K donde es el máximo cortante por el área transversal:

V= carga transversal o F

T= espesor del área del diámetro

$$\tau_K = -1,24 \text{ Mpa} - \frac{VQ}{IT}$$

Para calcular Q tenemos que:

$$Q = A \bar{y}$$

$$Q = \frac{\pi r^2}{2} \cdot \frac{4r}{3\pi}$$

Lo anterior según las tablas geométricas de secciones.

$$Q = \frac{2}{3} (0,01 \text{ m})^3$$

$$Q = 6,6666 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

Para luego reemplazarla en el cálculo del esfuerzo en k

$$\tau_K = -1,24 \text{ Mpa} - \frac{196 \text{ N} \cdot 6,6666 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3}{2,5\pi \cdot 10^{-9} \text{ m}^4 \cdot 0,02 \text{ m}}$$

$$\tau_K = -1,24 \text{ Mpa} - 831.849 \text{ pa} = -2,071 \text{ Mpa}$$

2.1.6 Modificación mecánico del carro de mercar

Para realizar la implementación del sistema de movilidad al carro de mercado es necesario realizar una serie de modificaciones físicas al carro (ver figura 45 para observar el carro original sin modificaciones), como por ejemplo instalar los motores que permitan mover al carro o la instalación de los sensores escogidos por todo el borde entre otros.

Como primera parte se realiza la instalación de los motores, uno en cada llanta trasera ya que por el control de los microcontroladores y del puente h para la dirección diferencial del carro es necesario que sean instalados así.

Realizando la instalación de los motores se decide cambiar las llantas traseras por unas de caucho como se observa en la figura 45, esto debido a que tienen mejor agarre con la superficie y no se deslizan tanto como las originales, En las llantas delanteras no se realizan cambios ya que las dos llantas locas cumplen con la función de darle estabilidad y no interfiere en la maniobrabilidad del carro. Para darnos una idea de cómo va a quedar el carro de mercado con los motores instalados, se debe ver el dibujo CAD en el anexo D (Vistas del carro de mercado en solidworks).



Figura 45. Acople motor llanta trasera.



Figura 46. Acople motor llanta trasera.

Para ver de mejor manera las dimensiones reales del carro de mercado, se debe observar el anexo D (Vistas del carro de mercado en solidworks), en donde se ven las medidas a detalle de este carro, además de las vistas y las medidas del acople entre la llanta usada y el motor seleccionado.

Para seguir con las modificaciones al carro se piensa en una forma de instalar los sensores ultrasónicos sin tener que dejarlos fijos ya que suele suceder que algún sensor falle y sea necesario reemplazarlo por tal motivo se instala un soporte metálico en forma de U por todo el borde superior del carro para así también se aprovecha y usa de riel para los cables de todos los cómo se ven en las figuras 47 y 48.



Figura 47. Soporte sensores delanteros.



Figura 48. Soporte sensores lado derecho.

Como se puede observar en la figura 49, el carro quedo de la siguiente manera.



Figura 49. Carro de mercado con las modificaciones mecánicas.

Ya para terminar en la parte de abajo del carro van todos los componentes como la parte de control, baterías y puente h.

Sin embargo es necesario analizar cuáles son los puntos críticos del carro, por donde esté, tiene más probabilidades de sufrir una ruptura, para esto utilizaremos el programa CAD solidworks donde se debe ver el anexo f (Prueba curvatura carro de mercado solidworks), se puede observar en color rojo aquellos lugares donde hay baja probabilidad de que el material se curve o falle y de color verde se puede observar la alta probabilidad de que el material se curve o falle, como es de esperarse, el material de color verde está compuesto por la base que sostiene el canasto del carro de mercado, allí en ese lugar se encuentra el punto crítico.

3. SISTEMA DE REFERENCIA MÓVIL

El sistema de referencia móvil está pensado para complementar el trabajo de los sensores de proximidad ubicados en el carro de mercado ya que no se desea dejar toda la parte de seguimiento a cargo de estos debido a que ellos pueden tomar alguna lectura errónea que logre tomar una mala muestra, por consiguiente, el circuito digital puede tomar una mala interpretación y ocasionar una mala acción.

Para anticiparse a este problema se desea implementar el sistema de referencia móvil y se considera dos opciones: La primera consiste en el diseño y construcción de un sistema capaz de comunicarse con el carro y así enviar datos de los componentes internos necesarios como sensores que llevaría consigo y con estos datos realizar el sistema de seguimiento; Por otro lado la segunda opción consiste en implementar un medio de comunicación entre un dispositivo tecnológico inteligente ya creado (Celular o Tablet) y el carro de mercado para así enviar los datos de los sensores que llevan internos estos dispositivos.

En la selección de las opciones posibles se califica ventajas y desventajas de cada una y así se opta por la que más ventajas proporcionen al proyecto. Como ventaja de la construcción del sistema de referencia móvil se tiene que este solo estaría pensado para realizar el envío de datos de los sensores específicos necesarios para el carro de mercado y no tendría más uso que pueda llegar con interferir en la comunicación óptima con el carro, Como desventaja se necesita diseñar un sistema de referencia móvil desde cero contemplando todos sus componentes como puede ser su batería, sensores, un medio de comunicación con el carro, entre otros, lo que dejaría incierto bastantes factores como su tamaño, duración de la batería, peso y costo o saber que a la vez se necesita de un mayor tiempo de diseño y construcción, por esto mismo el implementar un medio de comunicación en un dispositivo tecnológico como un celular permite aprovechar los componentes integrados que tienen (sensores, batería, comunicación inalámbrica), esto sin contar con que usando el dispositivo tecnológico inteligente (Celular o Tablet) de cada usuario evitamos problemas que conlleva usar el sistema de referencia móvil como la posibilidad de pérdida por parte del usuario, la dificultad o incomodidad adicional que genera el transporte del sistema de referencia ya sea por su: tamaño, peso o forma del sistema de referencia móvil.

Obteniendo la idea de los beneficios que conlleva el implementar un medio de comunicación entre el celular y el carro de mercado se opta por el diseño y creación de una aplicación bajo el sistema operativo Android que permita realizar una conectividad entre el dispositivo inteligente y el carro. Se sabe que aunque existen otros sistemas operativos en los cuales se podría implementar la aplicación se escoge Android por ser un sistema operativo libre, el cual da bastante facilidad al momento de la creación de la app y de igual forma porque este sistema operativo se encuentra en la mayoría de empresas de teléfonos inteligentes (Samsung, Huawei, Sony, LG, Motorola, Alcatel o HTC), aunque se deja abierta la opción posterior para que se implemente en ios.

3.1 Comunicación inalámbrica

Se entiende como comunicación inalámbrica a la cual logra comunicar entre un receptor- emisor sin necesidad de un medio físico, Esta comunicación brinda muchas ventajas a la hora de implementarlo en proyectos donde no sea posible usar cables como medio físico para la comunicación entre dos o más dispositivos. Ahora bien, hay diferentes tipos de comunicación inalámbrica hoy en día por lo que se procede a escoger el medio de comunicación inalámbrico ya que bien se conoce que actualmente los teléfonos inteligentes ofrecen diferentes formas de hacerlo como vía bluetooth, infrarrojo entre otros y se opta por el que más beneficio aporte al proyecto.

Wifi

Fue creado para ser utilizado en redes locales inalámbricas y ahora también se utiliza para acceder a internet. Ahora bien, el hecho de tener una conexión WiFi en el equipo (Celular o Tablet) representa muchas ventajas adicionales a las que presenta al ser inalámbrica, tales como: Poder conectarse en cualquier lugar, Elección de entre varias señales libres o con seguridad y la gran capacidad de transmitir grandes datos en poco tiempo.

Pero también ofrece determinadas desventajas, de las cuales podríamos llegar a mencionar algunas: Falla en la conexión, distancia limitada para la recepción de la señal, facilidad de hackeo de las seguridades y debemos tener un emisor de señales wifi, normalmente un router wifi, y los receptores deben tener un receptor wifi que reciba la señal y la transforme.

Sistema GPS (sistema de posicionamiento global)

Es un sistema de orientación y navegación basada en la recepción de las informaciones emitidas por satélites, que están en órbita a 20.200 Km. Se encuentran dispuestos de tal forma que siempre se tiene satélites a la vista en cualquier zona de la tierra. Los satélites conocen en todo momento la posición del receptor GPS situado en la tierra (en el coche por ejemplo) como principal desventaja no es del todo exacta para un sistema de seguimiento como del que se necesita y tiene un alto consumo energético.

Bluetooth

También es un sistema inalámbrico pero solo utilizado para cortas distancias, su objetivo principal es facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos, eliminar cables y conectores entre éstos y ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales. En este tipo de transmisión el emisor debe de estar dentro de la cobertura del receptor para poder establecer una comunicación entre ellos y el número máximo de unidades bluetooth que pueden comunicarse entre sí es de 8.

Para la elección del sistema de comunicación inalámbrica se descarta el GPS por la falta de precisión y se compara el WIFI vs el bluetooth, como primer argumento se tiene que en el caso de wifi se requieren puntos de acceso wifi para conectarse, pero con bluetooth solo se requieren dos unidades que tengan bluetooth para poder interconectarse y sin necesidad de un punto de acceso intermedio entre los dos⁵³. Otra ventaja es el bajo consumo energético con el que trabaja y la facilidad de implementarlo ya que esta tecnología es totalmente universal y esto permite conectar dos dispositivos sin correr el riesgo que no sean compatibles por lo que se opta por el bluetooth como comunicación inalámbrica entre el carro y el dispositivo inteligente.

3.2 App carro de mercado

Como primer medida se elige el entorno de desarrollo para la aplicación, teniendo que la app es para el sistema operativo Android se compara los entornos como MIT app inventor, Android Studio y Basic 4 Android para el desarrollo de la aplicación que conectara y comunicara el dispositivo inteligente con el carro de mercar.

Se empieza con la idea de que cada uno tiene una lenguaje de programar diferente y una forma distinta, como por ejemplo los bloques de programación en el app inventor o en texto en Basic 4 Android pero principalmente se toma en cuenta la facilidad de implementar los sensores internos del Smartphone con la app dejando una clara ventaja al MIT app inventor ya que este entorno

⁵³ GAUSIN, Saúl, Dispositivos Móviles, [En línea].2015, <http://dispositivosmovilessaulg.blogspot.com/2012/02/los-diferentes-tipos-de-comunicacion.html>, [consultado 8 Agosto de 2015].

ayuda mucho en la comunicación de los sensores con la aplicación ya que cuenta con un soporte sencillo para usar el acelerómetro, el bluetooth o el giroscopio y usarlos para lo que se requiera, esto sumado a que es un entorno para estudiantes ofrece una gran facilidad de realizar tareas complicadas de una manera fácil y sencilla sin descuidar lo estético de la app y de manera gratuita por lo que se opta como el entorno de desarrollo para la app carro de mercar.

Con ayuda de MIT App Inventor se procede al diseño y creación de la aplicación móvil para dispositivos inteligentes capaz de realizar la comunicación con el carro de mercado y a su vez transmita los datos de los sensores internos del dispositivo que se requieran para un mejor sistema de seguimiento por parte del carro.

Como nombre para la app se toma “Carro de mercado” para que sea fácil la búsqueda de la app y no presente problemas al momento de recordar por parte del usuario, esto acompañado de la imagen del icono de la app de un carro de mercar en fondo blanco (ver figura 50) se desea que la experiencia al usar la app sea muy sencilla y práctica.

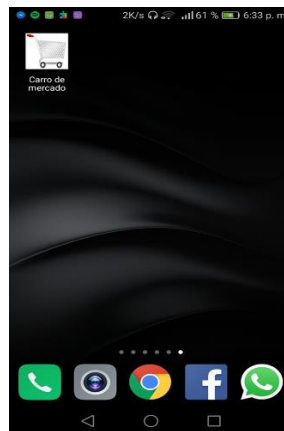


Figura 50. Icono y nombre app.

Al abrir la app se encontrara con el menú principal como se observa en la figura 51, el cual cuenta con tres opciones: La primera permite conectar el dispositivo inteligente con el carro de mercado una vez hayamos encendido el bluetooth del Smartphone donde aparecerá la opción de seleccionar el dispositivo bluetooth disponibles y un segundo botón que tiene como función el hacer la conexión, la segunda consiste en un botón de ayuda que brinda un pequeño tutorial (anexo c) para manejar correctamente la app y la tercera un botón que permite salirnos de la app y volver al menú del dispositivo.

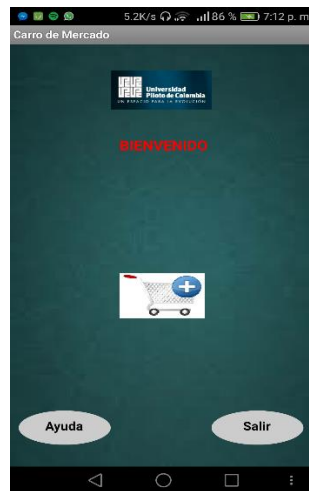


Figura 51. Screen principal app.

Lo anterior es la parte visual de la app, ahora en la parte lógica de la app se tiene que la programación en MIT inventor es por medio de bloques que van conectados entre ellos. (Anexo 1).

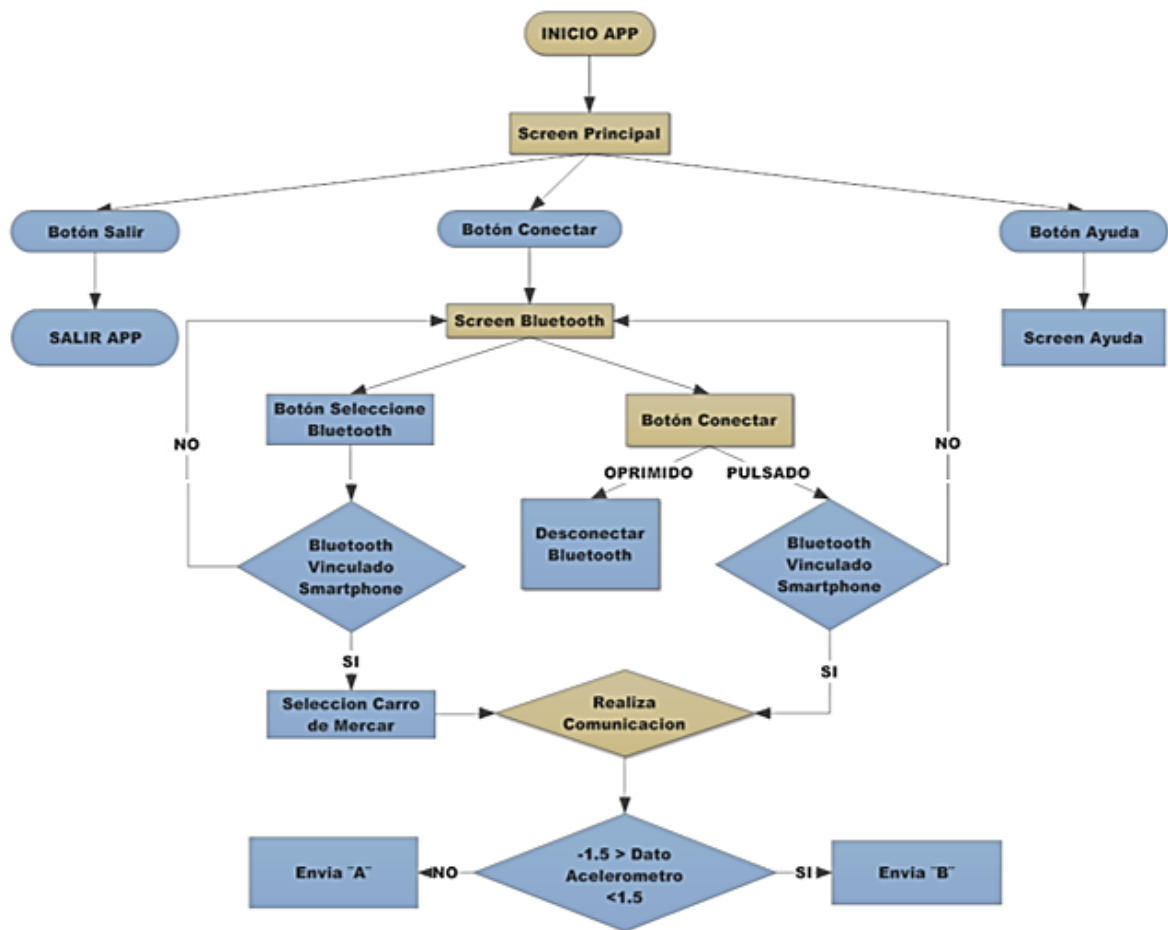


Figura 52. Diagrama de funcionamiento de la app.

El entorno de MIT app inventor es muy sencillo y práctico ya que nos permite trabajar con el acelerómetro interno de cada dispositivo inteligente y a continuación enviarlo vía bluetooth al módulo del carro de mercado.

En la app lo primero en realizar es mostrar todos los dispositivos bluetooth asociados al Smartphone luego al oprimir el botón conectar vincula los dos dispositivos bluetooth y realiza la comunicación entre ambas partes, a continuación la app toma los datos del acelerómetro en 3 dimensiones siendo X, Y, Z como en el plano cartesiano y los guarda en tres variables por aparte.

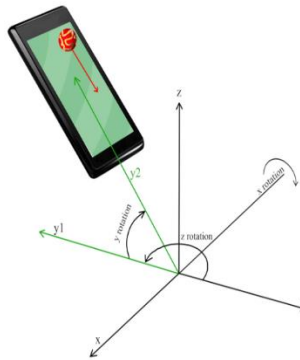


Figura 53. Plano de las 3 dimensiones acelerómetro.

De estos tres planos de la figura 53 se tomara valido únicamente los datos del acelerómetro en el plano Z, esto debido que la gran mayoría de personas al momento de marcar guardan sus dispositivos inteligentes en el bolsillo delantero de sus pantalones lo cual hace que el celular quede verticalmente y ubicado en el plano z por lo cual se decide que para una buena comunicación entre dispositivos se necesita que el celular se encuentre siempre verticalmente en uno de los bolsillos delanteros del usuario ya que es la mejor elección para la toma de datos del sensor.

Para explicar el funcionamiento del acelerómetro en el plano z se tiene que si el celular está totalmente vertical el dato del sensor será muy cerca de 0, si por el contrario está inclinado hacia la izquierda el valor será negativo y hacia la derecha el valor será positivo, esto se compara al momento de caminar y con el celular en uno de los bolsillos delanteros ya que si el usuario está de pie el sensor tomara datos muy cerca de 0 pero si por el contrario el usuario está caminando el sensor tomara datos o positivos con el pie delante del eje 0 o negativos con el pie detrás del eje 0.

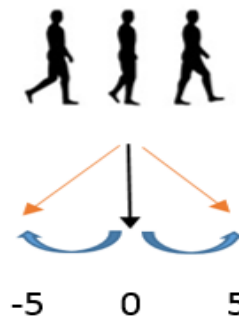


Figura 54. Datos del Acelerómetro al caminar 3 posiciones eje z.

Como se muestra en la figura 54 las tres diferentes opciones da como resultado estos números, la app los toma y envía una letra al carro de mercado, B en las dos posiciones al caminar y A al estar en reposo, estas letras ayuda a mejorar el sistema de seguimiento ya que esto y los sensores de proximidad permite tener los datos suficientes para realizar el algoritmo de seguimiento por parte

del carro hacia el usuario; Una vez envía la letra repite el proceso hasta que el usuario desconecte o desvincule el bluetooth.

4. DISEÑO ELECTRÓNICO

Basado en los cálculos mecánicos y considerando como regla general de diseñar primero los sistemas mecánicos y luego los electrónicos se empieza a diseñar el sistema de seguimiento, compuesto por sensores, una unidad lógica y una de potencia.

4.1 SISTEMA DE SEGUIMIENTO

Es necesario utilizar sensores de proximidad que se encargaran de establecer la distancia entre el usuario y el carro de mercado, garantizando la distancia delimitada por el proyecto (50 cm a 100 cm), además de condiciones de seguridad que impidan que el carro se descontrole y atropelle o choque otras personas, por esto se debe seleccionar el tipo de sensor adecuado de acuerdo a las necesidades del proyecto.

4.1.1 Selección de sensor

Para la selección del sensor se usa un cuadro comparativo destacando las características de distancia de trabajo, precio y facilidad de implementación; En la tabla 5 están marcadas con una (x) los sensores que cumplen con este criterio, de acuerdo a las necesidades del proyecto.

Sensor	Distancia de trabajo	Precio	Facilidad de implementación
Fotoeléctrico	x	X	
Ultrasónico	x		x
Capacitivo			x
Inductivo		X	
Magnético			x
Infrarrojo	x	X	

Tabla 5. Comparativa de Sensores.

Si bien es cierto que algunos sensores magnéticos y capacitivos alcanzan el rango necesario para el proyecto, estos son utilizados a nivel industrial en aplicaciones muy específicas que dificultan su implementación en el proyecto. En sentido de lo anterior el sensor que más se ajusta a las necesidades del proyecto es el ultrasónico, a pesar del costo en comparación a otros sensores nos brinda dos grandes beneficios como una buena distancia de trabajo y una fácil implementación.

4.1.2. Sensor ultrasónico HC-SR04



Figura 55. Sensor ultrasónico HC-SR04.

Este sensor de la figura 55 de ultrasonido es uno de los más utilizados actualmente en el mundo de la robótica, ya que la relación costo – beneficio se ha cumplido con amplias expectativas, además se destaca por su bajo consumo y gran precisión reemplazando así a otros sensores de proximidad, ya que cuenta con un circuito integrado, su uso se resume en enviar el pulso de arranque y medir la duración en que la onda tarda en ir y volver, de pequeño tamaño, compatible con la gran mayoría de micro controladores del mercado, cumpliendo así con las expectativas lo hace ideal para ser implementado en el proyecto.

Características⁵⁴

- Dimensiones del circuito: 43x20x17 mm
- Tensión de alimentación: 5 Vcc
- Frecuencia de trabajo: 40 KHZ
- Rango máximo: 400 cm
- Rango mínimo: 1.7 cm
- Duración del pulso de disparo (nivel TTL) = 10 μ s
- Duración del pulso eco de salida (nivel TTL): 100-25000 μ s
- Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra 20 ms

⁵⁴ Sensor de distancia de Ultrasonido HC-SR04 [Internet]. Electronilab.co. Disponible en: <http://electronilab.co/tienda/sensor-de-distancia-de-ultrasonido-hc-sr04/>

Pines:

- Vcc
- Trig (Emisor de pulso)
- Echo (Receptor de pulso)
- GND

4.1.3. Ubicación de sensores

Los sensores serán ubicados en el frente, lado izquierdo y lado derecho del carro de acuerdo a la figura 56.

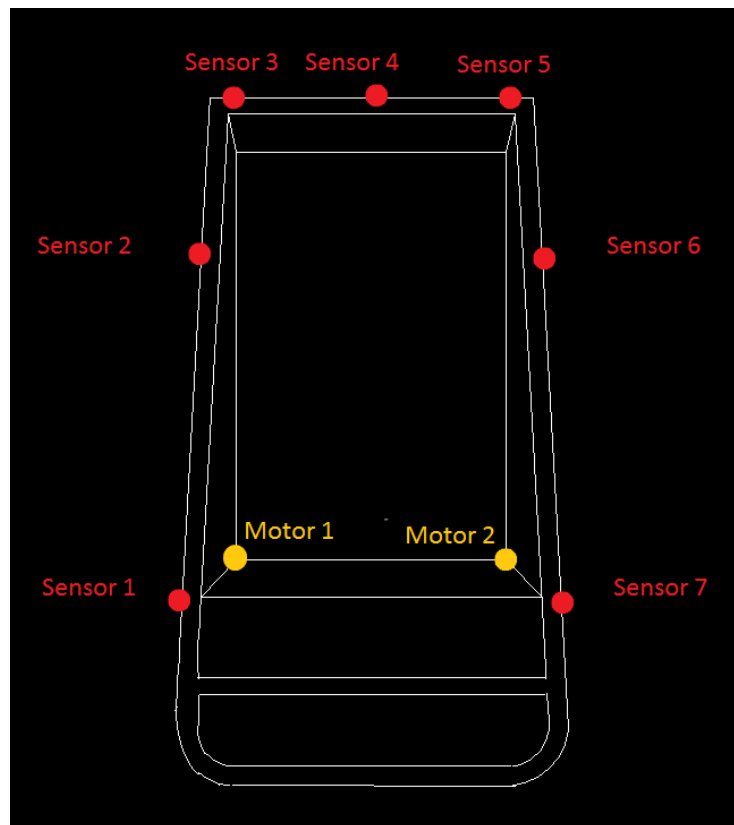


Figura 56. Ubicación de sensores.

4.1.4. Funcionamiento

Estos sensores están divididos en 2 grupos:

Sensor 1	Sensores lado izquierdo	Sensores de seguridad
Sensor 2		
Sensor 3	Sensores frente	Sensores de seguimiento y guía
Sensor 4		
Sensor 5		
Sensor 6	Sensores lado derecho	Sensores de seguridad
Sensor 7		

Tabla 6. Ubicación de sensores.

El sensor 4 es el principal sensor en el sistema de seguimiento, ya que va a estar censando al usuario en la mayor parte del tiempo; este es el encargado de mantener la distancia establecida. Está programado para que active los dos motores si la distancia no es la establecida.

Los sensores 3 y 5 son los encargados de guiar el carro respecto al usuario solo en el momento del que el usuario salga del área de trabajo del sensor 4, es decir, si el sensor 3 detecta, el usuario esta levemente hacia la izquierda con respecto al eje central del carro (sensor 4), entonces el sensor dará la orden de activar el motor 1 en sentido contrario y el motor 2 en sentido ordinario para que el centro del carro (sensor 4) quede alineado con el usuario, por el contrario, si el sensor 5 detecta el usuario esta levemente hacia la derecha con respecto al eje central del carro (sensor 4) y se dará la orden de activar el motor 1 en sentido ordinario y el motor 2 en sentido contrario para que el centro del carro (sensor 4) quede alineado con el usuario.

Los sensores de seguridad (sensores 1, 2, 6 y 7), están encargados de prevenir que el carro choque contra los lineales, cuando estos lleguen a activarse darán la orden de detener los motores sin importar la acción que este ejecutando en ese momento.

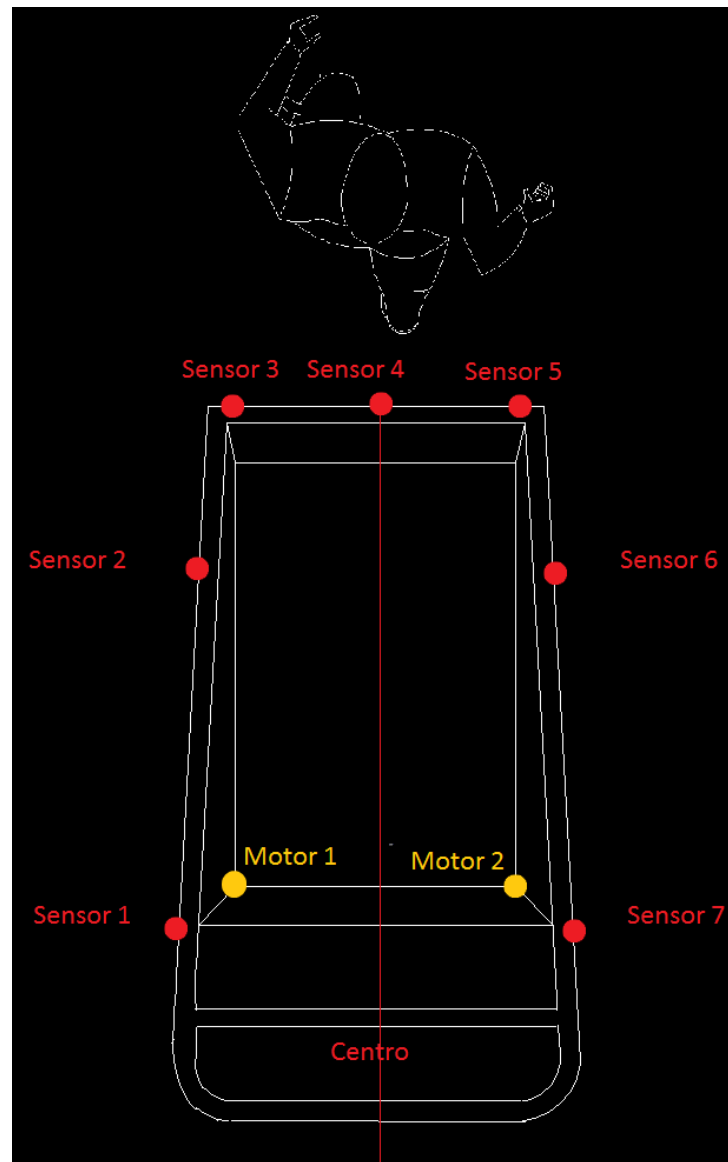


Figura 57. Funcionamiento de los sensores frente al usuario.

Diagrama de flujo

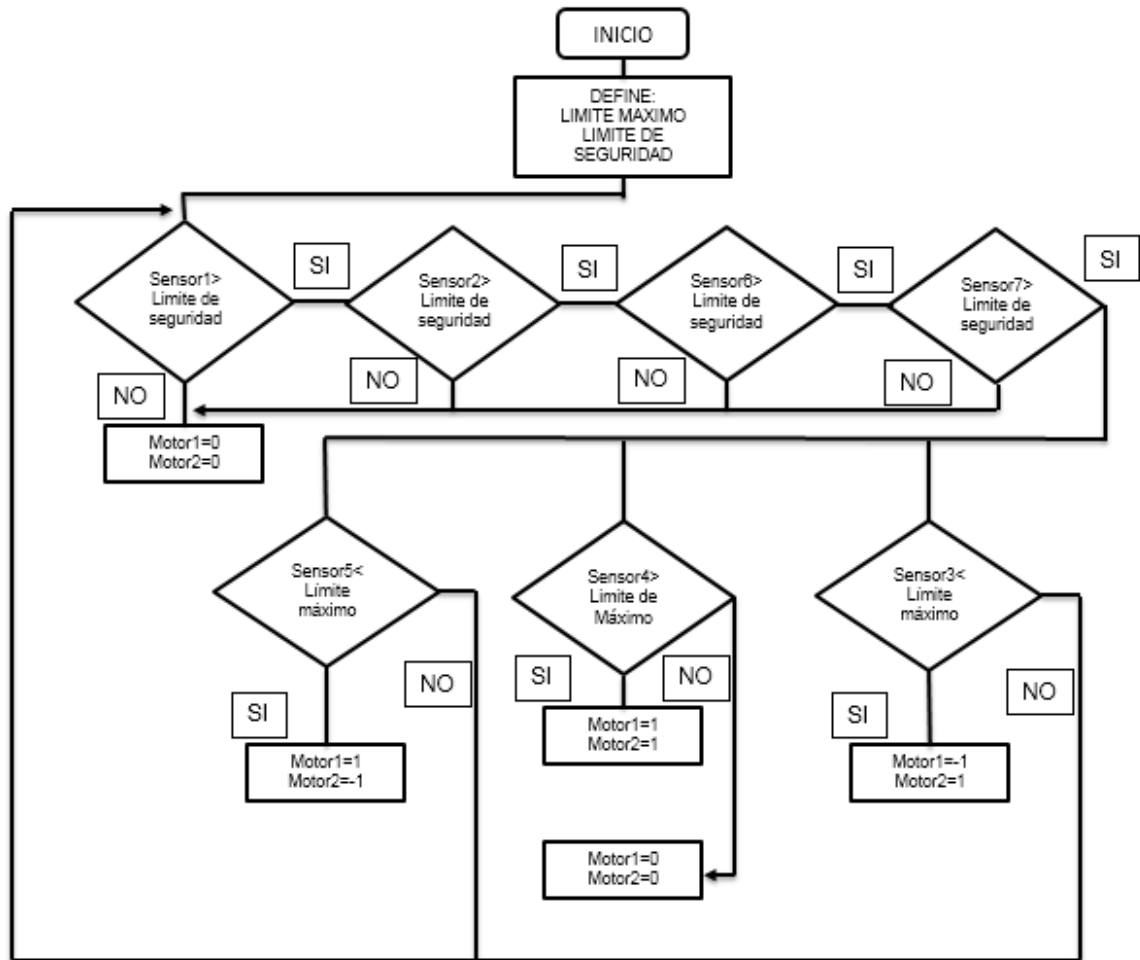


Figura 58. Diagrama de flujo de funcionamiento

La lectura de los sensores ultrasónicos será una tras otra, es decir en serie, ya que activando un solo sensor y guardando el valor en una variable se garantiza que la onda de un sensor no interfiera en la lectura de otro sensor de ultrasonido diferente, generando así lecturas erróneas o ruido. Como la lectura es en serie y para garantizar la seguridad del carro de mercado los primeros sensores en ser evaluados son los de seguridad (Sensores 1, 2, 6 y 7) y después la lectura de los sensores que moverán el carro de mercado (Sensores 3, 4 y 5), ya sea avanzando o girando.

4.2 Unidad lógica

4.2.1 Selección de unidad lógica

Para la selección la unidad lógica se usa un cuadro comparativo destacando las características de procesamiento, precio, tamaño, versatilidad en programación y manejo previo; En la tabla 7 están marcadas con una (x) la unidad lógica que cumple con este criterio, de acuerdo a las necesidades del proyecto.

	Procesamiento	Precio	Tamaño	Versatilidad en programación	Manejo previo
Microcontrolador		x	x	x	x
Tarjeta Embebida	x			x	

Tabla 7. Selección unidad lógica.

La unidad lógica que más se ajusta a los beneficios del proyecto es la utilización de microcontroladores, ya que son de bajo costo y de múltiples aplicaciones; si bien es cierto que la velocidad y cantidad de procesamiento de tarjetas embebidas es mayor, se puede solventar esta dificultad agregando microcontroladores que interactúen entre si y repartiendo la carga por procesamiento y aun así no superan en costo a una tarjeta embebida; la utilización de tarjetas embebidas es sobredimensionar la utilización de una unidad lógica, ya que estas tarjetas están diseñadas para trabajos que requieran de alto procesamiento.

4.2.2 Microcontrolador y sensor ultrasónico hc-sr04

El microcontrolador 1 emite un pulso enviado por el pin trig del sensor ultrasónico HC-SR04 y mide el tiempo en que la onda tarda en ir y rebotar con un obstáculo (usuario), la señal de rebote es registrada por el pin echo del sensor ultrasónico. Para poder determinar el tiempo en que la señal tarda en ir y volver es necesario que el microcontrolador 1 active un TIMER al momento de enviar el pulso de activación de la onda y se desactive cuando el sensor envíe al microcontrolador la señal mediante el pin echo de que la onda regreso, y guardar el tiempo en un variable para luego poder ser utilizada. Como se necesita determinar la distancia se debe hacer el siguiente análisis:

$$Velocidad = \frac{Espacio}{Tiempo}$$

$$Espacio = Velocidad \times Tiempo$$

Como los sensores funcionan por medio de generación de ondas a la velocidad del sonido debemos tener en cuenta que:

$$Velocidad\ del\ sonido = 343 \frac{m}{s} = 0.0343 \frac{cm}{\mu s}$$

$$Espacio = 0.0343 \frac{cm}{\mu s} \times Tiempo$$

Pero como la onda hace un recorrido de ida y vuelta debemos dividir sobre dos.

$$Espacio = \frac{0.0343}{2} \frac{cm}{\mu s} \times Tiempo$$

$$Espacio = 0.01715 \frac{cm}{\mu s} \times Tiempo$$

Donde “Tiempo” es el valor que tiene el microcontrolador después de haber activado el TIMER, así pues y con la utilización de la formula anterior obtendremos la medida de la distancia en centímetros.

Diagrama de flujo

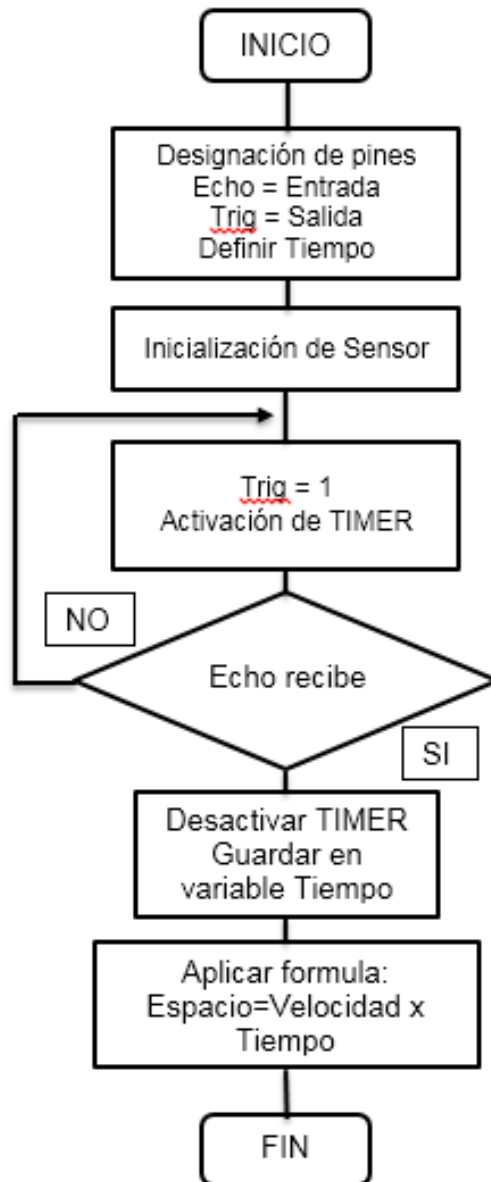


Figura 59. Diagrama de flujo sensor ultrasónico.

4.2.3 Microcontrolador y bluetooth

4.2.3.1 Selección de Bluetooth

Para la selección la unidad lógica se usa un cuadro comparativo destacando las características de regulador, alcance, precio, facilidad de acoplar a otros circuitos, versatilidad; En la tabla 8 están marcadas con una (x) el modulo que cumplen con este criterio, de acuerdo a las necesidades del proyecto.

	Regulador	Alcance	Precio	Facilidad de acoplar a otros circuitos	Versatilidad
Bluetooth HC-05		X			X
Bluetooth HC-06	X	X	X	X	X

Tabla 8. Selección de Bluetooth.

Si bien es cierto que el funcionamiento de los módulos bluetooth HC-05 y HC-06 en lo único que se diferencian es que el módulo HC-06 puede trabajar como maestro, lo cual no afecta en el proyecto, se diferencian en parte física y de operación, ya que el módulo HC-06 trae incluido un regulador el cual permite conectar de manera directa el modulo con la misma batería que se alimenta el microcontrolador, además el módulo HC-05 no tiene pines para acoplar fácilmente a otro circuito, por facilidad de implementación el módulo HC-06 es la mejor opción.

4.2.3.2 Modulo bluetooth HC-06



Figura 60. Modulo bluetooth HC-06.

El modulo Bluetooth HC-06 utiliza el protocolo UART RS 232 serial de fácil implantación y manejo haciendo ideal para comunicación con computadores, Arduino, tarjetas embebidas y microcontroladores. Es uno de los bluetooth más utilizados en el mercado en el ámbito educativo y desarrollo de aplicaciones simples pero con alta funcionalidad, tiene como característica principal un regulador de voltaje e indicador led que es intermitente cuando está buscando dispositivos y fijo cuando está vinculado.

Características⁵⁵:

- Compatible con el protocolo Bluetooth V2.0.
- Voltaje de alimentación: 3.3VDC – 6VDC.
- Voltaje de operación: 3.3VDC.
- Baud rate ajustable: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200.
- Tamaño: 1.73 in x 0.63 in x 0.28 in (4.4 cm x 1.6 cm x 0.7 cm)
- Corriente de operación: < 40 mA
- Corriente modo sleep: < 1mA

Pines

- VCC
- GND
- TX
- RX

COMANDOS AT

Los comandos AT nos permiten configurar características que vienen por defecto en el dispositivo bluetooth, para poder configurar el bluetooth es necesario conectarlo a un dispositivo que envíe estos comandos en forma ASCII, algunos comandos son:

- **Test de comunicación**
Enviar: AT
Recibe: OK
- **Cambiar nombre de módulo HC-06**
Enviar: AT+NAME(NOMBRE)
Recibir: OKsetname
- **Cambiar contraseña**
Enviar: AT+PIN(NUMERO DE 4 DIGITOS)
Recibir: OKsetPIN
- **Cambiar velocidad de comunicación**
Enviar: AT+BAUD(NUMERO)
Recibir: OKBAUD

⁵⁵ Modulo Bluetooth HC-06[Internet]. Electronilab.co. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/modulo-bluetooth-hc-06-serial-rs232ttl/>

La configuración utilizada para el proyecto es:

Nombre: CARRO-DE-MERCADO

Contraseña: 1234

Velocidad: 9600

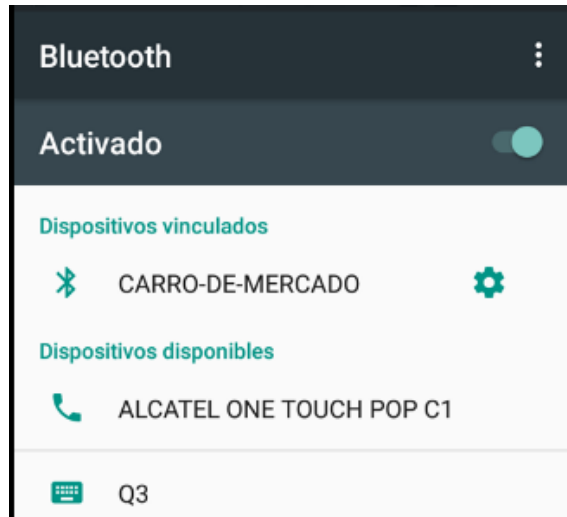


Figura 61. Vinculación Bluetooth con el celular.

4.2.4 Microcontrolador y microcontrolador

Teniendo en cuenta lo anterior y las especificaciones del proyecto, el cual tiene el uso de 7 sensores, una comunicación con una unidad bluetooth, conexión para dos motores se opta por trabajar con dos micro controladores, ya que se distribuirá la carga por procesamiento de los sensores, así pues la unidad lógica queda distribuida de la siguiente manera:

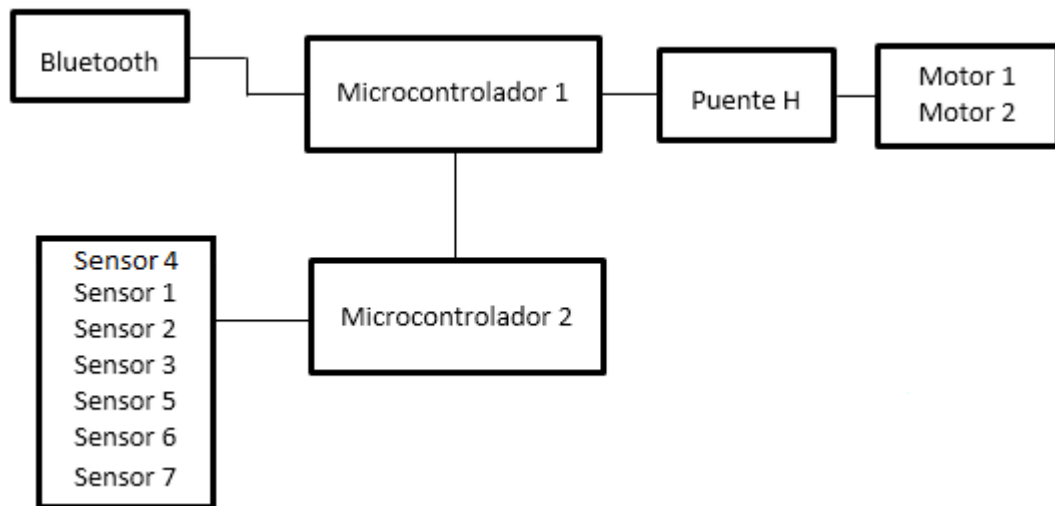


Figura 62. Distribución de unidad lógica.

El microcontrolador 1 está encargado de recibir la información del bluetooth y microcontrolador 2, el microcontrolador 2 la información de los sensores.

El microcontrolador 2 se encarga de tomar los datos de distancia de los sensores 3 y 5 (sensores de guía) y sensor 4 (sensor de seguimiento), el cual mediante condiciones de funcionamiento activa un pin de salida para la dirección izquierda, otro para la dirección derecha y otro para avanzar, además el microcontrolador 2 se encarga de los sensores 1, 2, 6 y 7 (sensores de seguridad), que dependiendo de condiciones de seguridad activa un pin de salida indicado que el carro se debe detener, estos pines de salida están conectados al microcontrolador 1.

El microcontrolador 1 toma la decisión programada dependiendo del pin que se active del microcontrolador 2, dando como prioridad el pin encargado de los sensores de seguridad, después el pin encargado del giro y por último, el pin encargado de la distancia.

Diagrama de flujo de funcionamiento del PIC1

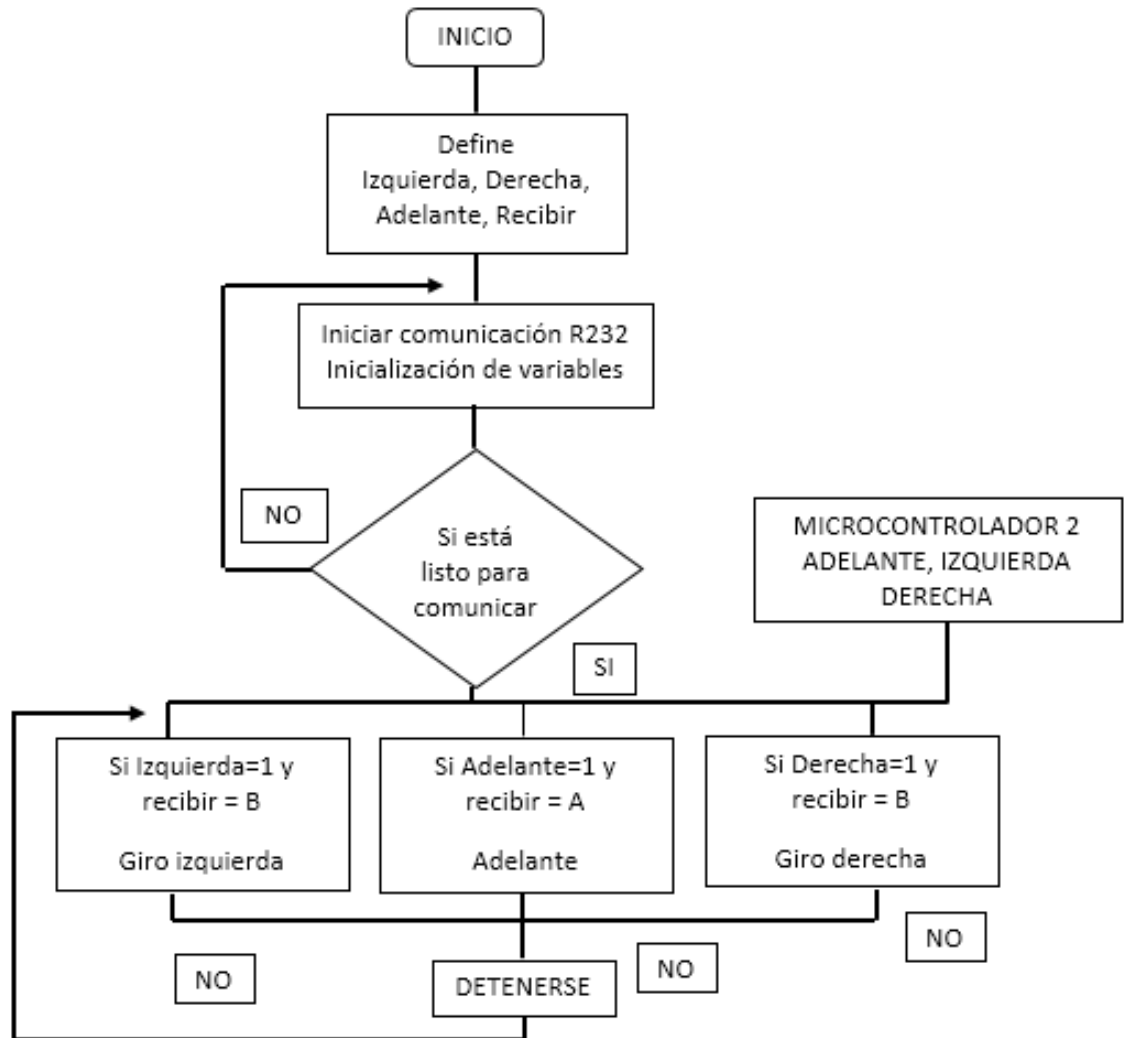


Figura 63. Diagrama de flujo de PIC1

Diagrama de flujo de funcionamiento del PIC2

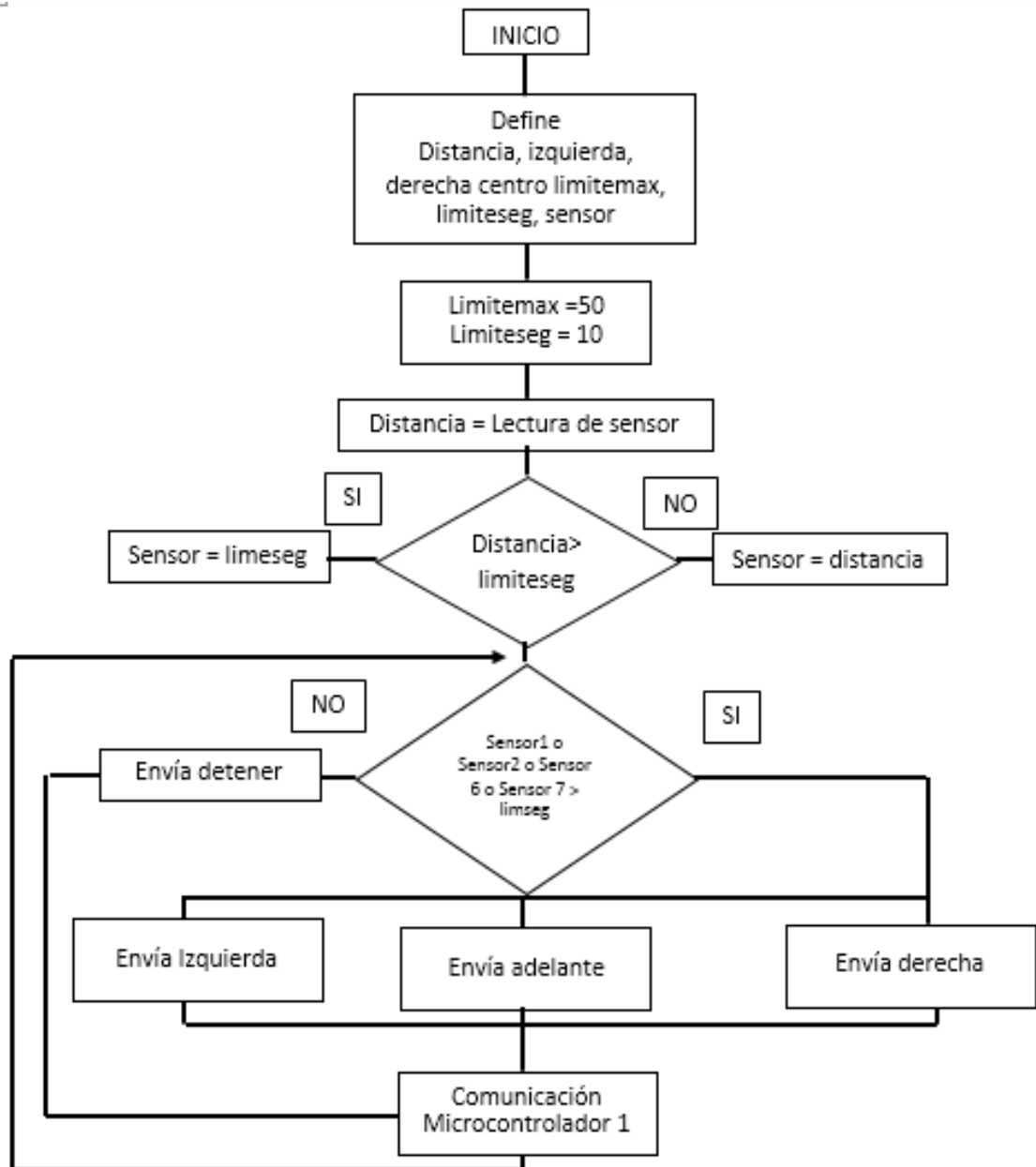


Figura 64 Diagrama de flujo de PIC2

Pseudocódigo

Programa PIC1

INCIO

Define IZQUIERDA, DERECHA, ADELANTE son números enteros

Motor11, Motor12, Motor 21, Motor 22 son pines

Recibir variable tipo char

Deshabilitar entradas Analógicas

Activar entradas y salidas de los puertos

Iniciar comunicación serial (9600)

Inicialización de variables

Ciclo while

Si está listo para comunicar entonces

Recibir = Lo que se lea en la comunicación por bluetooth

ADELANTE = PORTD.F2

DERECHA = PORTB.F2

IZQUIERDA = PORTD.F0

Si IZQUIERDA=1 y Recibir = B

MOTOR11=1;

MOTOR12=0;

MOTOR21=0;

MOTOR22=1;

Si DERECHA=1 y Recibir = B

MOTOR11=0;

MOTOR12=1;

MOTOR21=1;

MOTOR22=0;

SI ADELANTE=1 y Recibir=A

MOTOR11=0;

MOTOR12=1;

MOTOR21=0;

MOTOR22=1;

Por lo contrario

MOTOR11=0;

MOTOR12=0;

MOTOR21=0;

MOTOR22=0;

Lo que está en recibir = 0

FIN

Programa PIC2

INICIO

Define

Pines de sensores (Tigger y Echo)

Motor11, Motor12, Motor21, Motor22 como puertos

distancia1, distancia2, distancia3, izquierda, derecha, centro, distancia4, distancia5, sensor1, sensor2, distancia6, distancia7, sensor3, sensor4, limitemax, limiteseg como variables enteras

Deshabilitar entradas analógicas

Activar entradas y salidas de los puertos

Limitemax = 50 (distancia establecida de seguimiento)

Limiteseg = 10 (distancia de seguridad)

Ciclo While

Inicio de sensores

Entrada Echo

Salida Tigger

Lectura de sensores

distancia1 = Lectura sensor 1

distancia2 = Lectura sensor 2

distancia3 = Lectura sensor 3

distancia4 = Lectura sensor 4

distancia5 = Lectura sensor 5

distancia6 = Lectura sensor 6

distancia7 = Lectura sensor 7

Filtro por software

Si distancia > limiteseg

Sensor = limiteseg

Por lo contrario

Sensor = distancia

Condiciones de funcionamiento

Si sensor1 o sensor2 o sensor6 o sensor 7 < limiteseg

Apagar motores

Por lo contrario

Si izquierda<limitemax&¢ro<limitemax&&derecha<limitemax

Apagar motores

Si izquierda>=limitemax&¢ro>=limitemax&&derecha>=limitemax

Adelante motores

Si izquierda<limitemax&¢ro>=limitemax&&derecha>=limitemax

Giro izquierda

Si izquierda>=limitemax&¢ro<limitemax&&derecha>=limitemax

Apagar Motores

Si izquierda>=limitemax&¢ro>=limitemax&&derecha<limitemax

Giro derecha

Si izquierda<limitemax&¢ro<limitemax&&derecha>=limitemax

Apagar motores

Si izquierda<limitemax&¢ro>=limitemax&&derecha<limitemax

Adelante motores

Si izquierda>=limitemax&¢ro<limitemax&&derecha<limitemax)

Apagar motores

Fin

Como se tiene un diagrama de la unidad lógica, las características de los dispositivos que van asociados entre sí y el cómo se comunican, se puede seleccionar el microcontrolador con las siguientes consideraciones:

- Manejo de TIMER para sensores ultrasónicos.
- Pines RX y TX para manejo de comunicación UART R232.
- Microcontrolador con considerable cantidad de pines ya que se usaran 7 sensores, 4 salidas para el puente h, modulo bluetooth, salida para comunicar con el otro microcontrolador.

Familia	ROM [Kbytes]	RAM [bytes]	Pines	Frecuencia de reloj. [MHz]	Entradas A/D	Comunicación serial	Comparadores	Temporizadores de 8/16 bits
Arquitectura de la gama baja de 8 bits, palabra de instrucción de 12 bits								
PIC10FXXX	0.375 - 0.75	16 - 24	6 - 8	4 - 8	0 - 2	-	0 - 1	1 x 8
PIC12FXXX	0.75 - 1.5	25 - 38	8	4 - 8	0 - 3	-	0 - 1	1 x 8
PIC16FXXX	0.75 - 3	25 - 134	14 - 44	20	0 - 3	-	0 - 2	1 x 8
PIC16HVXXX	1.5	25	18 - 20	20	-	-	-	1 x 8
Arquitectura de la gama media de 8 bits, palabra de instrucción de 14 bits								
PIC12FXXX	1.75 - 3.5	64 - 128	8	20	0 - 4	-	1	1 - 2 x 8 1 x 16
PIC12HVXXX	1.75	64	8	20	0 - 4	-	1	1 - 2 x 8 1 x 16
PIC16FXXX	1.75 - 14	64 - 368	14 - 64	20	0 - 13	USART I2C SPI	0 - 2	1 - 2 x 8 1 x 16
PIC16HVXXX	1.75 - 3.5	64 - 128	14 - 20	20	0 - 12	USART I2C SPI	2	2 x 8 1 x 16
Arquitectura de la gama alta de 8 bits, palabra de instrucción de 16 bits								
PIC18FXXX	4 - 128	256 - 3936	18 - 80	32 - 48	4 - 16	USB2.0 CAN2.0 USART I2C SPI	0 - 3	0 - 2 x 8 2 - 3 x 16
PIC18FXXJXX	8 - 128	1024 - 3936	28 - 100	40 - 48	10 - 16	USB2.0 USART Ethernet I2C SPI	2	0 - 2 x 8 2 - 3 x 16
PIC18FXXKXX	8 - 64	768 - 3936	28 - 44	64	10 - 13	USART I2C SPI	2	1 x 8 3 x 16

Figura 65. Clasificación de los microcontroladores.⁵⁶

Según la clasificación de los microcontroladores, los de alta gama ofrecen el mayor procesamiento, velocidad, cantidad de pines, comunicación, etc, acorde a las necesidades del proyecto, por esto los microcontroladores de alta gama son la mejor opción.

⁵⁶ Microcontroladores PIC y sus variedades [Internet]. microcontroladoresesv.wordpress.com. Disponible en: <https://microcontroladoresesv.wordpress.com/microcontroladores-pic-y-sus-variedades/>

Pic 18f4550

Este pic de alta gama cuenta con 40 pines en total, 5 puertos, comunicación serial R232 con RX en pin 26 y TX en el pin 25, manejo de interrupciones en los pines 33, 34 y 35, PWM, buena velocidad de procesamiento haciéndolo ideal para la utilización de este proyecto.

4.3 Puente h

Un puente H es un circuito de potencia que sirve básicamente para la inversión de giro de un motor, separa la parte lógica del circuito de la parte del circuito donde hay elementos que usan alta corriente, como motores. Está compuesto por una batería (Fuente de alimentación de motores), elementos de switcheo y motor.

Consideremos la siguiente imagen:

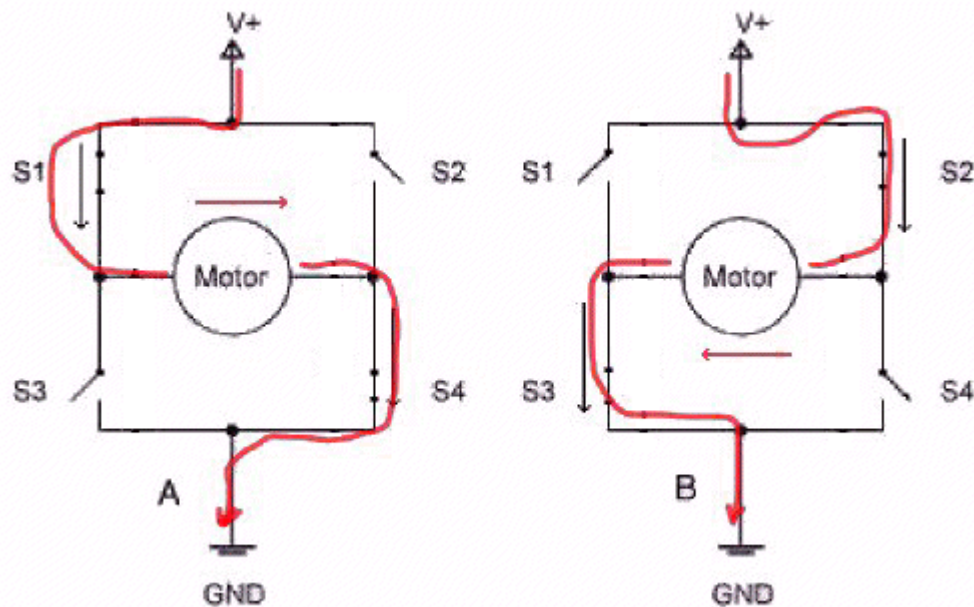


Figura 66. Funcionamiento puente H.⁵⁷

Donde s1, s2, s3 y s4 son elementos de switcheo. Si se energiza el circuito y se cierra s1 y s4 el motor girara en un sentido, mientras, si se cierra s2 y s3 el motor girara en sentido contrario.

Un puente H puede tener elementos de switcheo como transistores o relés.

Los **RELES** son dispositivos electromecánicos que manejan corrientes altas con corrientes pequeñas, sin embargo presentan mayor desgaste por ser mecánico y su velocidad de activación es menor en comparación a otros elementos de switcheo.

Los **TRANSISTORES** son dispositivos eléctricos hechos de materiales semiconductores usados para cerrar o abrir un circuito o como amplificadores, es común verlo en aparatos cotidianos como radios, alarmas, computadoras, etc.

Para la selección del elemento de switcheo se usa la tabla 9 comparativa en donde se establecen los criterios de velocidad de switcheo, desgaste, alta corriente, precio y tamaño, donde se marca con una (x) las condiciones que se ajustan mejor al proyecto.

Velocidad de switcheo	Desgaste	Alta	Precio	Tamaño
-----------------------	----------	------	--------	--------

⁵⁷ Notas sobre robótica, sistemas operativos y programación [Internet]. <https://minibots.wordpress.com/>. Disponible en: https://minibots.files.wordpress.com/2015/01/giros_en_puente_h.gif

	corriente				
Relé			X		
Transistor	X	X		X	X

Tabla 9. Tabla de selección de elementos de switcheo.

Si bien el relé maneja alta corriente algunos transistores que están en el mercado cubren la necesidad de corriente del proyecto, es de destacar que el carro de mercado se deberá activar de manera repetida y constante ya que el usuario al momento de mercar se detiene en varias ocasiones, además la reacción de activación mantendrá el carro lo más cerca posible del usuario, por esto y la diferencia de tamaños la mejor opción para el proyecto es la utilización del transistor.

4.3.1 Puente H con transistores

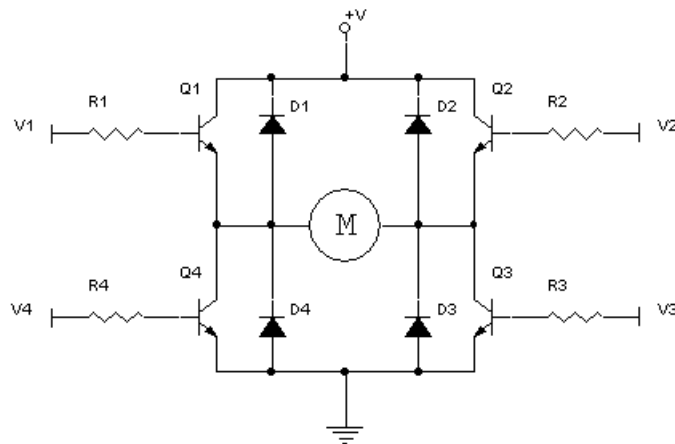


Figura 67. Puente H con transistores⁵⁸

Es necesario utilizar dos transistores NPN y dos transistores PNP.

La máxima corriente que consumen los motores de las baterías es cuando el carro está cargando el peso máximo, por esto es necesario considerar esta corriente porque es la máxima que el puente h debe soportar.

Por esto se mide la corriente que consume cada motor como se muestra en la siguiente imagen:

⁵⁸ Northwestern University Mechatronics Design Laboratory [Internet]. <http://mechatronics.mech.northwestern.edu/>. Disponible en: <http://mechatronics.mech.northwestern.edu/H-Bridge>.



Figura 68. Corriente consumida de cada motor.

Se debe elegir un transistor NPN y PNP que soporte 12.19 A de corriente como mínimo, considerando el pico inicial de corriente que estos experimentan para que el carro pueda vencer la inercia.

El Tip 35 (NPN) y Tip 36 (PNP) son transistores que cumplen con esta condición pues I_C Max es de 25 A y una corriente pico de 40 A, como se muestra en la siguiente figura 69 tomada del datasheet:

MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	TIP35 TIP36	TIP35A TIP36A	TIP35B TIP36B	TIP35C TIP36C	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	40	60	80	100	V
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	40	60	80	100	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5.0				V
Collector Current - Continuous - Peak	I_C	25 40				A
Base Current	I_B	5.0				A
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	125 1.0				W W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +150				$^\circ\text{C}$

Figura 69. Datasheet TIP 35 y TIP 36.

Se destaca también el voltaje que se maneja en colector y emisor el cual está muy por encima de la usada por el proyecto la cual es de 24V.

Para hacer los cálculos de la resistencia de base se necesita el beta del transistor, esto se encuentra en el Datasheet de la figura 70.

ON CHARACTERISTICS (1)

DC Current Gain ($I_C = 1.5 \text{ A}$, $V_{CE} = 4.0 \text{ V}$,) ($I_C = 15 \text{ A}$, $V_{CE} = 4.0 \text{ V}$,)	h_{FE}	25 15	75	
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 15 \text{ A}$, $I_B = 1.5 \text{ A}$) ($I_C = 25 \text{ A}$, $I_B = 5.0 \text{ A}$)	$V_{CE(sat)}$		1.8 4.0	V
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 15 \text{ A}$, $V_{CE} = 4.0 \text{ V}$) ($I_C = 25 \text{ A}$, $V_{CE} = 4.0 \text{ V}$)	$V_{BE(on)}$		2.0 4.0	V

Figura 70. Datasheet beta TIP 35 Y TIP 36

Se toma el valor de 75 ya que es el máximo valor de amplificación.

El puente H que se desea elaborar es el siguiente:

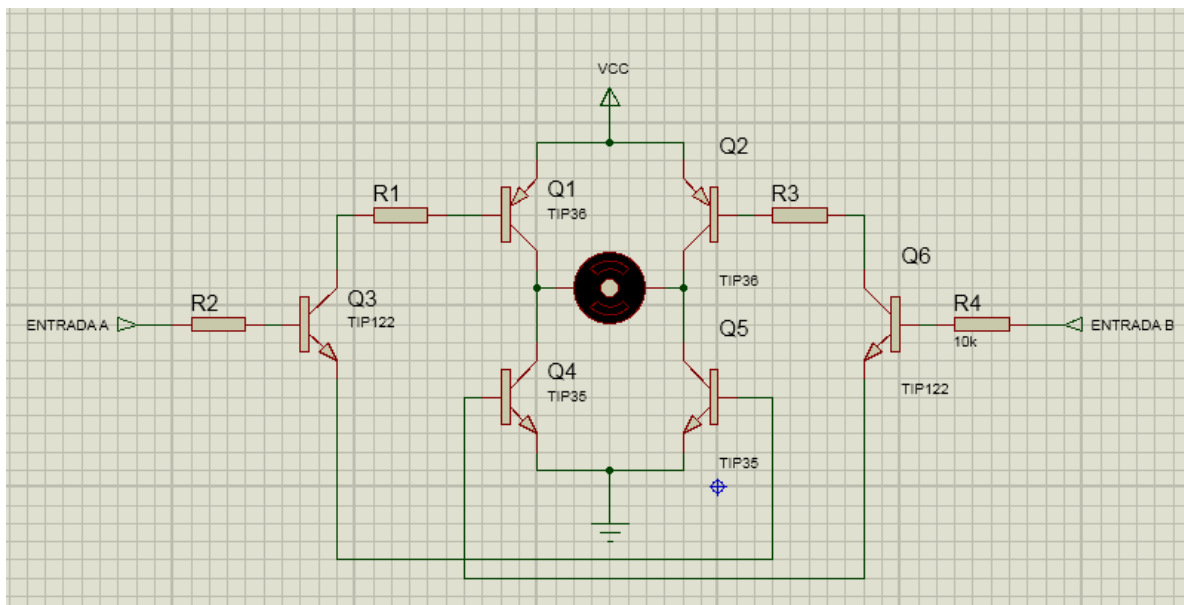


Figura 71. Puente H.

$$BETA1 = 75$$

$$I_c = 12.19 \text{ A}$$

$$V_{cc} = 24 \text{ V}$$

Se calculan los valores de resistencias, para esto dividimos el circuito ya que lo otra parte tendrá los mismos valores.

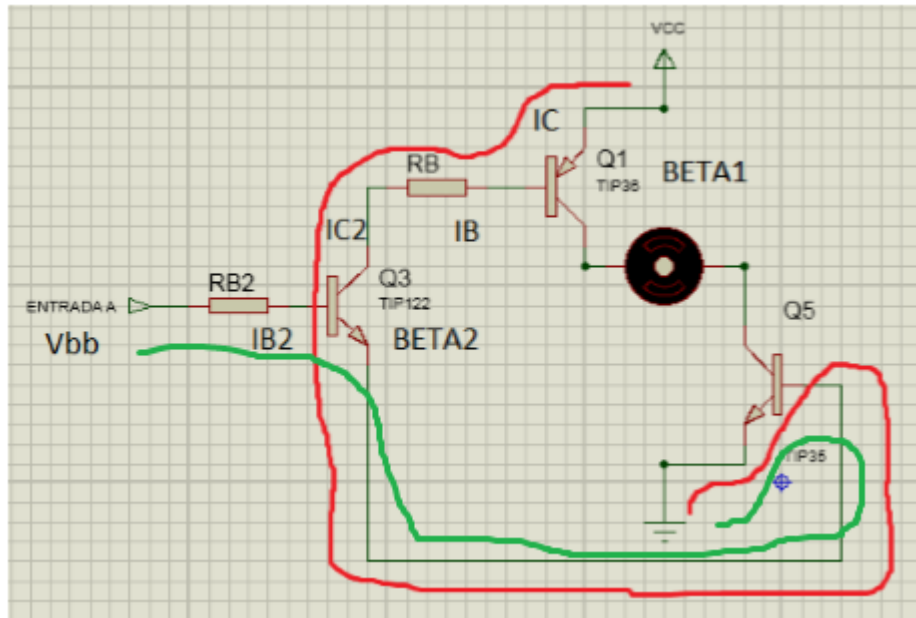


Figura 72. Cálculos puente H.

Según la ecuación:

$$I_c = BETA1 I_b$$

$$I_b = \frac{I_c}{B} = \frac{12.19 \text{ A}}{75} = 0.16253 \text{ A}$$

Analizando el camino de color rojo y teniendo en cuenta que el TIP 122 el VCE = 0 se tiene

$$V_{cc} = V_{Rb} + 0.7 + 0.7$$

$$V_{Rb} = V_{cc} - 1.4$$

$$V_{Rb} = 24 - 1.4 = 22.6 \text{ V}$$

Y según la ley de ohm

$$R_B = \frac{V_{Rb}}{I_b} = \frac{22.6 \text{ V}}{0.16253 \text{ A}} = 139.05 \ \Omega$$

Resistencia comercial: $R_B = 120 \ \Omega$

Ahora se calcula la resistencia de base del TIP 122, según el Datasheet el beta es:

ON CHARACTERISTICS (1)

DC Current Gain ($I_C = 0.5 \text{ A}$, $V_{CE} = 3.0 \text{ V}$) ($I_C = 3.0 \text{ A}$, $V_{CE} = 3.0 \text{ V}$)	h_{FE}	1000 1000		
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 3.0 \text{ A}$, $I_B = 12 \text{ mA}$) ($I_C = 5.0 \text{ A}$, $I_B = 20 \text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$		2.0 4.0	V
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 3.0 \text{ A}$, $V_{CE} = 3.0 \text{ V}$)	$V_{BE(on)}$		2.5	V

Figura 73. Beta TIP122.

$$BETA2 = 1000$$

Y Tendiendo en cuenta que:

$$I_b = I_{c2} = 0.16253 \text{ A}$$

$$V_{bb} = 5 \text{ V}$$

Según la ecuación:

$$I_{c2} = BETA2 I_{b2}$$

$$I_{b2} = \frac{I_{c2}}{BETA2} = \frac{0.16253 \text{ A}}{1000} = 0.1625 \text{ mA} \quad 0.0001625 \text{ A}$$

Analizando el camino de color verde de la figura 72 se tiene:

$$V_{bb} = V_{Rb2} + 0.7 + 0.7$$

$$V_{Rb2} = V_{bb} - 1.4$$

$$V_{Rb2} = 5 - 1.4 = 3.6 \text{ V}$$

Y según la ley de ohm

$$RB2 = \frac{VRb2}{Ib2} = \frac{3.6 V}{0.0001625 A} = 22153.84 \Omega$$

Resistencia comercial RB2 = 22 K Ω

Así pues los valores de resistencia según la figura 71 son:

$$R1 = R3 = RB = 120 \Omega$$

$$R2 = R4 = RB2 = 22 K \Omega$$

Como se desea controlar el giro de cada motor es necesario utilizar un puente H para cada motor, con la misma lógica y valores ya calculados anteriormente.

5. RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

El presente trabajo se realizó con el fin de facilitar una de las tareas diarias hecha por muchas personas y que se les dificulta a personas de limitada movilidad, que sin darnos cuenta se ha realizado de la misma manera durante muchos años, sin embargo son primordiales en la venta de productos de un supermercado, además estos invierten una cantidad considerable de dinero en la adquisición y mantenimiento de lo que se automatizo en el presente proyecto, el carro de mercado estándar.

Se evaluó unas condiciones iniciales las cuales incluyen en modificar lo menor posible la mecánica de carro, unas condiciones de funcionamiento que dan prioridad al usuario en concentrarse en la tarea de hacer mercado que en la de controlar el carro y la utilización de un dispositivo que actualmente la gran mayoría de personas tiene y usa como la de un Smartphone.

Como funcionamiento, se estableció que el carro de mercado siga a las personas, para esto se debieron establecer condiciones de peso, tanto para un carro de mercado estándar como para un mercado que comúnmente hace un usuario, de velocidad, ya que se debió determinar la velocidad en la que una persona camina, un tiempo de funcionamiento calculado considerable de aproximadamente 30 minutos que aunque no se tiene como prioridad en el proyecto es necesario considerarlo.

Gracias a los cálculos mecánicos el carro es capaz de andar con su peso máximo (80 kg), más su propio peso (20 kg), además gracias a la implementación de un sistema de movimiento diferencial se hace más fácil de controlar y programar. La selección de las baterías es la indicada ya que el carro sigue a la velocidad descrita en el proyecto.

Se pudo evidenciar las falencias de los sensores ultrasónicos, la cual implica que una superficie que no es perpendicular a la lectura del sensor puede causar datos erróneos, sin embargo se pudo determinar que estos datos están por fuera del rango de trabajo descrito por el proyecto (50 cm a 100 cm), y se pudo controlar gracias a la programación filtrando previamente los datos obtenidos de los sensores, además se puede evidenciar que es necesario manejar un sensor ultrasónico a la vez, es decir, activar un sensor, leer el dato y guardarlo en una variable; ya que al activar varios sensores al mismo tiempo la onda de rebote de un sensor puede afectar de manera considerable la lectura de otro, haciendo que el carro tome decisiones incorrectas. Sin embargo estas falencias son considerablemente disminuidas con el apoyo del sistema de referencia.

El sistema de referencia envía datos dependiendo de la posición del celular en el bolsillo del usuario, así mediante programación y condicionando el funcionamiento el carro de mercado no

avanza por los datos erróneos enviados por los sensores ultrasónicos, y viceversa, el carro no avanza por el movimiento natural de una persona al introducir productos al carro hasta que el sensor ultrasónico de la señal que esta fuera de rango. Además la app de este proyecto de grado es amigable con el usuario, de fácil manejo, con simple vinculación como cualquier dispositivo bluetooth y selección del mismo, botones de vinculación y desvinculación y un manual de usuario fácil de entender.

Como es de esperarse el sistema de potencia presenta calentamiento en los transistores ya que el sistema esta constante expuesto a detenerse y avanzar, experimentando así picos altos de corriente de los motores por vencer la inercia, sin embargo estos el sistema de potencia funciona correctamente gracias a la corriente máxima previamente medida y la utilización de disipadores.

Así pues gracias a las consideraciones iniciales y múltiples pruebas se cumplen con los objetivos propuestos en el proyecto, sin embargo, el proyecto está abierto a mejorarse de manera considerable ya que se pueden implementar nuevos sistemas y mejorar los mismos y como se había mencionado es un elemento que prácticamente sigue siendo el mismo por varios años.

6. CONCLUSIONES

- Los motores junto con las llantas traseras y el tipo de dirección seleccionada cumplen de buena manera con los objetivos ya que aunque cumplen sus funciones, el carro no se vio perjudicado por estabilidad, perdidas por deslizamiento u otros factores mecánicos que se trató de evitar inicialmente.
- La elección del bluetooth como tipo de comunicación inalámbrica fue totalmente acertada, ya que tiene un buen rango de trabajo y en rara ocasión la comunicación se pierde.
- Usar los sensores de los Smartphone como ayuda para el sistema de seguimiento sirvió de gran manera ya que son muy exactos y sin ruido siendo así un sistema de referencia muy confiable a la hora de realizar el sistema de seguimiento por parte del carro.
- Por el contrario el uso de los sensores ultrasónicos no fueron tan confiables a la hora de realizar los muestreos por lo que se tuvo que realizar filtros en el software para reducir de gran manera estos inconvenientes que perjudican el proceso de seguimiento por parte del carro.
- La app carro de mercado fue uno de los grandes logros del proyecto, cumple con la totalidad de expectativa que se tuvo con la aplicación y es parte fundamental del proyecto por su sencillez y su utilidad al algoritmo de seguimiento. También que gracias a la app deja abierta la posibilidad de realizar bastantes mejoras dichas en recomendaciones y trabajos futuros.
- Los componentes mecánicos fueron los más complicados de conseguir en el mercado, ya que en la gran mayoría de estos no se consiguen de forma fácil y precisa si no por el contrario se tuvo problemas al momento de conseguirlos.
- La ayuda de solidworks como sistema CAD para simular las propiedades del carro fueron de gran importancia ya que se aproxima bastante a los datos reales.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Aunque el carro de mercado cumple con los objetivos iniciales propuestos, se recomienda algunos ítems que podrían ayudar o mejorar el uso del carrito de mercado:

- Como primera recomendación se podrían usar unos mejores sensores ultrasónicos ya que aunque los sensores seleccionados cumplen con las necesidades del carro no dejan de ser académicos mejorando así su precisión y reducir de gran manera el ruido o los datos incorrectos que a veces toman los sensores.
- Implementar la opción de poder manejar el carro manualmente tal vez con la ayuda de un joystick o manejarlo desde la aplicación móvil en forma de carro del control remoto para ofrecer más opciones al usuario y dar escoger diferentes formas de manejo.
- Al carro de mercado se le puede implementar un lector de código de barras para poder ir llevando la sumatoria del total del mercado y de igual forma poderlo observar en la app los detalles de cada producto para finalmente dar la opción de pago electrónico para así evitar filas y colas de caja.
- Aunque la duración de la batería tiene una autonomía suficiente, se podría optimizar y mejorar las baterías para mejorar el tiempo de uso por parte del carro.
- Implementar el sistema de seguimiento en otros tipos de carro de mercar o canastas.
- Que el carro pueda esquivar obstáculos predeterminados a la vez que se pueda comunicar con otros carros de mercado para organizar los pasillos y el sistema de compra por parte de los usuarios.
- Como proyecto ambicioso se puede colocar en la app la opción de que una vez terminada el proceso de mercar por parte del usuario avise al carro de mercado para que el automáticamente vaya a la cola de pago y avise al usuario mediante la app cuando ya esté cerca de llegar a la caja.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3COM, Comunicaciones GSM, [En línea]. 2013, <http://support.usr.com/support/3cxm756/3cxm756-spanish-ug/3C756-32.htm>, [consultado 23 Agosto de 2015].
- AF [Internet], Así funciona el motor de corriente directa o continua, [En línea]. 2017, http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_motor_cd/af_motor_cd_6.htm, [consultado 31 Enero de 2015].
- Ametek precisión motor [Internet], Permanent Magnet DC-Motor GR 63x55, [En línea]. 2016, <http://www.dunkermotor.com/default.asp?id=9&mid=12&lang=2>, [consultado 4 Febrero de 2016].
- Android Studio [Internet], [En línea]. 2016, <https://developer.android.com/studio/intro/index.html?hl=es-419>, [consultado 3 abril de 2016].
- Bebes y más [Internet], El carro de la compra, otro lugar desde el que pueden caer (y hacerse mucho daño), [En línea]. 2014, <https://www.bebesymas.com/consejos/el-carro-de-la-compra-otro-lugar-desde-el-que-pueden-caer-y-hacerse-mucho-dano>, [consultado 30 marzo de 2016].
- CARDONA RENDÓN, LORENA, ORTIZ VALENCIA, PAULA ANDREA, BOTERO VALENCIA, JUAN SEBASTIÁN. Sistema de navegación para un robot limpiador de piscinasTecnura [en línea] 2014, 18 (Enero-Marzo): Disponible en: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/6955/8613>
- Carritos de la compra inteligentes [Internet]. <https://www.sabrosia.com/>. Disponible en: <https://www.sabrosia.com/2012/06/carritos-de-la-compra-inteligentes/>. Consultado [Enero 29 del 2017]
- Ceron Correa, Alexander. Sistemas robóticos teleoperados, Ciencia e Ingeniería Neogranadina [en línea] 2005, (noviembre): Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101505>> ISSN 0124-8170
- Data Sheet 18F4550 [Internet]. microchip.com. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>
- Desplazamientos a pie [Internet]. upcommons.upc.edu. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3316/55865-6.pdf?sequence=6>
- Diferencias y similitudes entre el rozamiento deslizante y el rozamiento en giro [Internet], Universidad de castilla – La mancha, www.uclm.es [En línea],

<https://www.uclm.es/profesorado/xaguado/ASIGNATURAS/BTD/4-Apuntes/Tema4/comparativa.pdf>, [consultado 20 Enero de 2017].

- Dinero [Internet], El que empuja los carritos de mercado, [En línea]. 2014, <http://www.dinero.com/empresas/articulo/el-empuja-carritos-del-mercado/167778>, [consultado 3 Enero de 2017].
- Dinero [Internet], El que empuja los carritos de mercado, [En línea]. 2014, <http://www.dinero.com/empresas/articulo/el-empuja-carritos-del-mercado/167778>, [consultado 3 Enero de 2017].
- Direct Industry [Internet], Motor DC / síncrono / 96V / de alta velocidad CM-25-280, [En línea]. 2016, <http://www.directindustry.es/prod/celeroton-ag/product-70024-1169717.html>, [consultado 13 Febrero de 2016].
- El Servomotor [Internet], [En línea]. 2014, <http://www.infoab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>, [consultado 4 Agosto de 2015].
- El Tiempo [Internet], Diseñan carro de mercado para ayudar a los invidentes a hacer compras, [En línea]. 2007, <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3861201>, [consultado 28 Enero de 2017].
- Electrónica Circuitos electrónicos e información técnica [Internet], Sensores de proximidad y sus aplicaciones, [En línea]. 2017, <http://www.electronica2000.com/temas/sensores-proximidad-aplicaciones.htm>, [consultado 30 Enero de 2016].
- Electrónica Unicrom, [Internet], [En línea]. 2015, http://www.unicrom.com/Tut_transistores_MOSFET.asp [consultado 11 Octubre de 2015].
- Electronilab [Internet], Módulo Bluetooth HC-05 y HC-06 Serial Rs232, [En línea]. 2017, <https://electronilab.co/tienda/modulo-bluetooth-hc-06-serial-rs232ttl/>, [consultado 1 Febrero de 2017].
- Festo [Internet], [En línea]. 2017 <http://www.directindustry.es/prod/festo/product-4735-1720000.html>, [consultado 3 Agosto de 2016].
- FIDEMAR [Internet], Sensores de Proximidad, [En línea]. 2017, <http://fidemar.com.uy/site/www/productos/sensores-de-proximidad.c7.html>, [consultado 30 Enero de 2017].
- Five Elements Robotics. Crearon un robot que lleva tus cosas y te sigue [Internet]. Soy Chile. Disponible en:

<http://www.soychile.cl/Santiago/Tecnologia/2014/01/08/224530/Crearon-un-robot-que-lleva-tus-cosas-y-te-sigue.aspx>

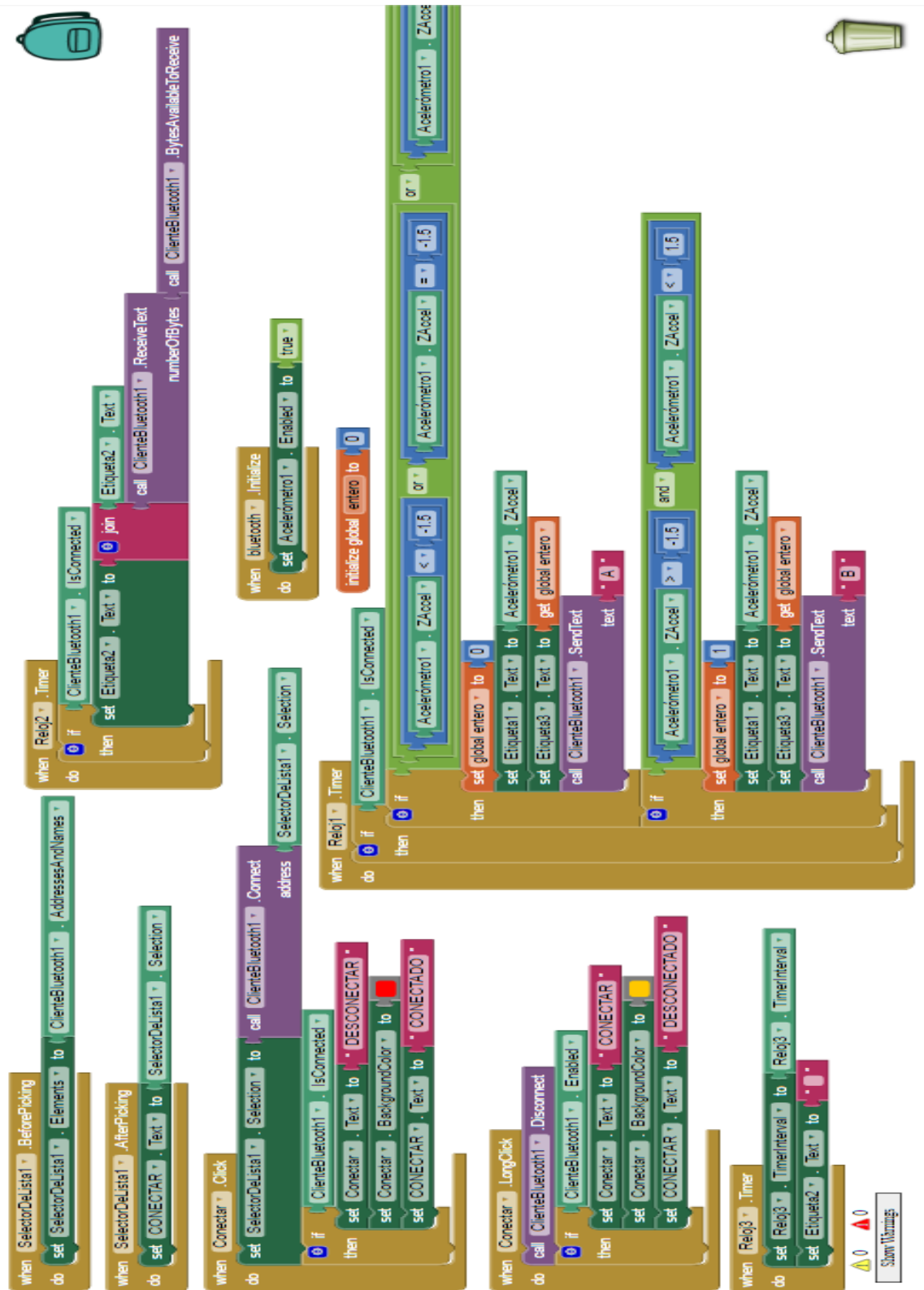
- García Rodrigo. Hop! La maleta robótica Bluetooth que sigue a su dueño [Internet]. Clipset. Disponible en: <http://clipset.20minutos.es/hop-la-maleta-robotica-bluetooth-que-sigue-a-su-dueno/>
- GAUSIN [Internet], Saúl, Dispositivos Móviles, [En línea]. 2015, <http://dispositivosmovilessaulg.blogspot.com/2012/02/los-diferentes-tipos-de-comunicacion.htmlr>, [consultado 8 Agosto de 2015].
- GAUSIN, Saúl, Dispositivos Móviles, [En línea].2015, <http://dispositivosmovilessaulg.blogspot.com/2012/02/los-diferentes-tipos-de-comunicacion.htmlr>, [consultado 8 Agosto de 2015].
- Geekfactory [Internet], Bluetooth HC-05 y HC-06, [En línea]. 2010, <http://www.geekfactory.mx/tutoriales/bluetooth-hc-05-y-hc-06-tutorial-de-configuracion/>, [consultado 22 Octubre de 2016].
- Hacedores [Internet], Que tarjeta de desarrollo elegir [Internet], [En línea]. 2014, <http://hacedores.com/que-tarjeta-de-desarrollo-elegir-parte-2/>, [consultado 14 Octubre de 2015].
- High-Tech [Internet], Como Funciona Bluetooth, [En línea]. 2015, <http://es.ccm.net/contents/69-como-funciona-bluetooth>, [consultado 21 Octubre de 2015].
- J. C. Castellanos Eljach and C. M. Araujo Berrocal. DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA MOVIL CONTROLADO POR COMPUTADOR CON RECONOCIMIENTO DE LA UBICACION DE OBSTACULOS EN EL ENTORNO Y ALGORITMOS DE PLANIFICACION DE LA TRAYECTORIA [Internet]. *Revista Investigaciones Aplicadas* 6(2), 2012. Disponible: <http://ezproxy.unipiloto.edu.co/docview/1328119506?accountid=50440>.
- Kang Cardozo, D., & Martínez Jara, E. (2014). Orientación por luminosidad diferencial. Detector y seguidor inteligente. [Internet]. FPUNE Scientific, 6(6). Disponible de: http://une.edu.py:82/fpune_scientific/index.php/fpunescientific/article/view/118
- KEYENCE [Internet], Fundamentos del sensor, [En línea]. 2017, <http://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/>, [consultado 30 Enero de 2017].
- Microcontroladores PIC y sus variedades [Internet]. microcontroladoresesv.wordpress.com. Disponible en: <https://microcontroladoresesv.wordpress.com/microcontroladores-pic-y-sus-variedades/>

- MIT app inventor [Internet], [En línea]. 2015, <http://appinventor.mit.edu/>, [consultado 24 marzo de 2016].
- Modulo Bluetooth HC-06[Internet]. Electronilab.co. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/modulo-bluetooth-hc-06-serial-rs232ttl/>
- Northwestern University Mechatronics Design Laboratory [Internet]. <http://mechatronics.mech.northwestern.edu/>. Disponible en: <http://mechatronics.mech.northwestern.edu/H-Bridge>.
- Notas sobre robótica, sistemas operativos y programación [Internet]. <https://minibots.wordpress.com/>. Disponible en: https://minibots.files.wordpress.com/2015/01/giros_en_puente_h.gif
- ORTIZ A., LUIS FERNANDO, MUÑOZ C., NELSON DAVID, LONDOÑO OSPINA, NELSON. SISTEMA DE LOCALIZACIÓN DE BAJO COSTO Y ALTA PRESTACIÓN PARA UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVILScientia Et Technica [en línea] 2008, XIV (Septiembre-Sin mes) Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920503023>> ISSN 0122-1701
- Petroquim [Internet], Qué es el polipropileno, [En línea].[Http: //www.petroquim.cl/que-es-elpolipropileno](http://www.petroquim.cl/que-es-elpolipropileno), [consultado 3 Agosto de 2015].
- Polycart [Internet], Un carro de mercado lleno de ventajas, [En línea]. 2015, <http://polycartgroup.com/ventajas.htm>, [consultado 25 Enero de 2017].
- Potenciaelectromecánica [Internet], Calculo de un motor reductor, [En línea]. 2015, <http://www.potenciaelectromecanica.com/calculo-de-un-motorreductor>, [consultado 4 Agosto de 2015].
- Presentan carrito de compras inteligente [Internet]. <http://expansion.mx/> . Disponible en: <http://expansion.mx/tecnologia/2008/01/14/presentan-carrito-de-compras-inteligente>. Consultado [Enero 29 del 2017]
- Protostack [Internet], Atmega168a-pu atmel 8 bit 16k avr microcontroller, [En línea]. 2017, <http://www.protostack.com/microcontrollers/atmega168a-pu-atmel-8-bit-16k-avr-microcontroller>, [consultado 20 Enero de 2017].
- Protostack [Internet], ATMEGA8A-PU Atmel 8 Bit 8K AVR Microcontroller, [En línea]. 2017, <http://www.protostack.com/microcontrollers/atmega8a-pu-atmel-8-bit-8k-avr-microcontroller>, [consultado 20 Enero de 2017].
- Quiminet, Conozca los diferentes tipos de alambre, [En línea]. 2012, <http://www.quiminet.com/articulos/conozca-los-diferentes-tipos-de-alambre-3000049.htm>, [consultado 3 Agosto de 2015].

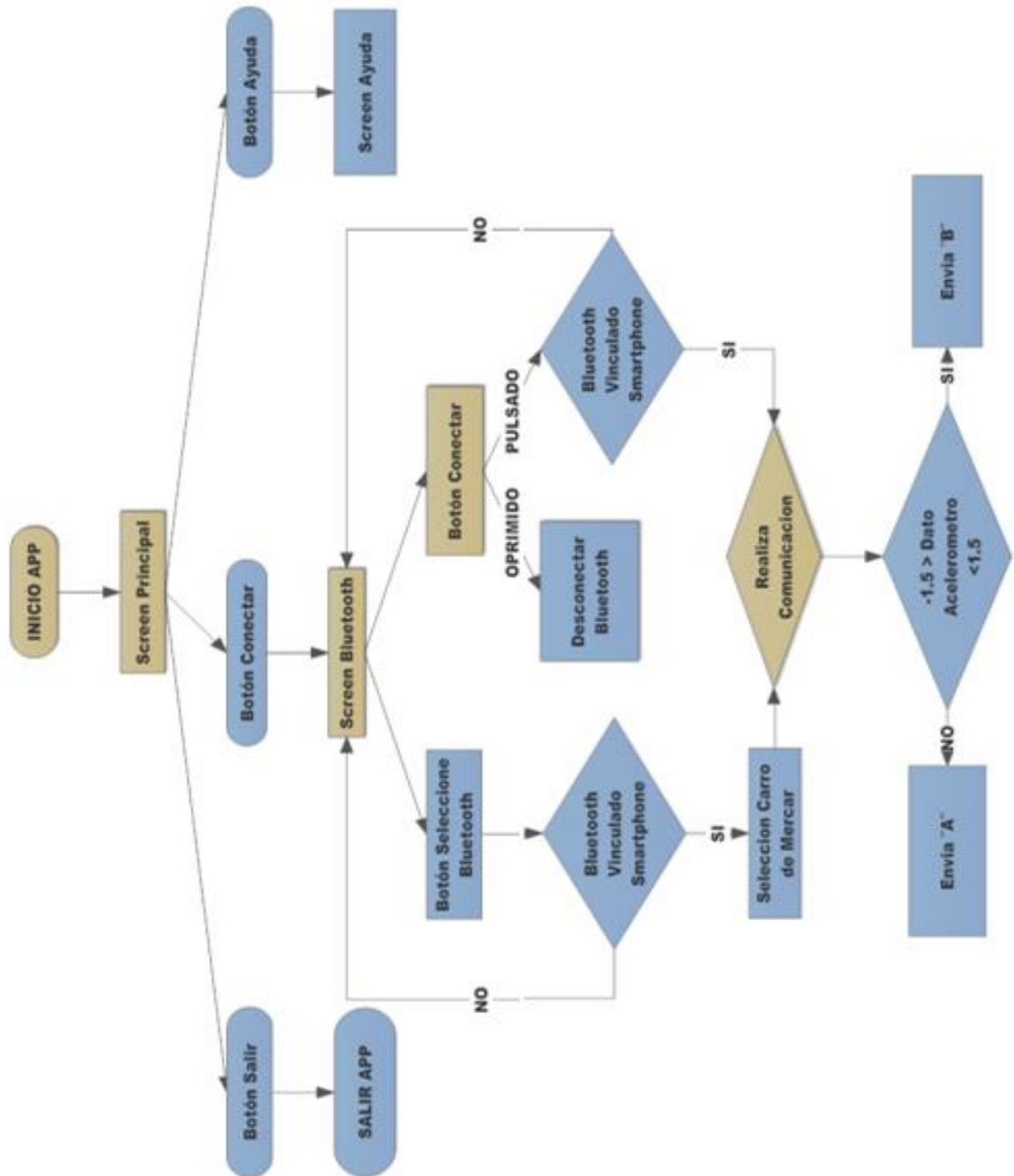
- RÍOS G., LUÍS HERNANDO, BUENO L., MAXIMILIANO. MODELO MATEMÁTICO PARA UN ROBOT MÓVIL Scientia Et Technica [en línea] 2008, XIV (Junio) Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903803>> ISSN 0122-1701
- SANCHEZ [Internet], Virginia, Omron, Comunicaciones vía Bluetooth, [En línea].2015, http://www.carolindustrial.es/descargas/GR_Bluetooth.pdf, [consultado 23 Agosto de 2015].
- Sensor de distancia de Ultrasonido HC-SR04 [Internet]. Electronilab.co. Disponible en: <http://electronilab.co/tienda/sensor-de-distancia-de-ultrasonido-hc-sr04/>
- Silla de ruedas robótica que sigue al acompañante [Internet].Robotica Street. Disponible en: <http://www.roboticastreet.com/silla-de-ruedas-robotica-que-sigue-al-acompanante/>
- Sistema CDMA, [En línea]. 2015, <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11479/fichero/3-Sistemas+CDMA.pdf>, [consultado 02 Octubre de 2015].
- SUTTER Ed. Embedded Systems Firmware Demystified. CMP Books. 2002. p 2.
- Telecomunicaciones 60641 [Internet], Transmisión por Infrarrojos, [En línea] .2010, <http://carlosjaviergonzalezdiaz.blogspot.com/2010/11/transmision-por-infrarrojos.html>, [consultado 22 Octubre de 2015].
- Texas Instruments [Internet], MSP430F2274, [En línea]. 2017, <http://www.ti.com/product/MSP430F2274>, [consultado 14 Enero de 2017].
- Todo Robot, Motores Paso a Paso [Internet], [En línea]. 2014, <http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobremotores-paso-a-paso-stepper-motors/>, [consultado 3 Agosto de 2015].
- UGR [Internet], [En línea]. 2015http://www.ugr.es/~amroldan/enlaces/dispo_potencia/reles.htm [consultado 11 Octubre de 2015].
- Villa-Medina, Francisco, Gutiérrez, Joaquín, & Porta-Gándara, Miguel Ángel. (2009). Vehículo robótico: autónomo y teleoperado con una PDA [En línea]. *Ingeniería mecánica, tecnología y desarrollo*, 3(2), 46-54. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-73812009000100002&lng=es&tlng=es.
- WIFI La comunicación Inalámbrica [Internet], [En línea]. 2015, <http://www.aulaclic.es/articulos/wifi.html>, [consultado 08 Octubre de 2015].

- WILMSHURST, Tim, Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers, Elsevier, 2007, p 3.
- YeePLY [Internet], 10 Entornos de programación para desarrollar apps Android sin Java, [En línea]. 2015, <https://www.yeeply.com/blog/entornos-programacion-desarrollar-apps-android/>, [consultado 28 marzo de 2016].

ANEXO A. PROGRAMACION APP INVENTOR



ANEXO B. DIAGRAMA DE FLUJO APP



Hola, bienvenido a la App carro de mercado.

Acá encontraras los pasos necesarios para conectar el carro de mercado a tu celular y así iniciar el proceso de merca.

1. Como primer paso debes encender el bluetooth de tu dispositivo móvil a continuación hacer la búsqueda de dispositivos cercanos bluetooth.
2. Buscar y seleccionar el bluetooth con nombre carro de mercado y a continuación vincularlo para esto te pedirá una clave la cual será 1234.
3. Una vez tu móvil esté vinculado con el carro de mercado reiniciar la App carro de mercado y en el menú inicial tocar el icono del carro con el signo más y seleccionar el carro de mercado (Esta vez no será necesaria la contraseña).
4. Una vez hecha la vinculación en la pantalla cambiara de color a verde esto significa que está vinculado.
5. Guardar el móvil en el bolsillo de tu pierna hábil verticalmente.
6. Empezar a caminar.
7. Para desvincular el carro, sostener el botón conectar hasta que cambie a color rojo
8. Y disfruta la experiencia de hacer mercado con él.

En caso de alguna falla o problema con la vinculación acercarse al operario responsable.

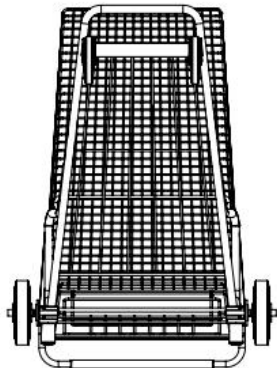
ANEXO D. VISTAS CARRO DE MERCADO SOLIDWORK



Carrito de Compras

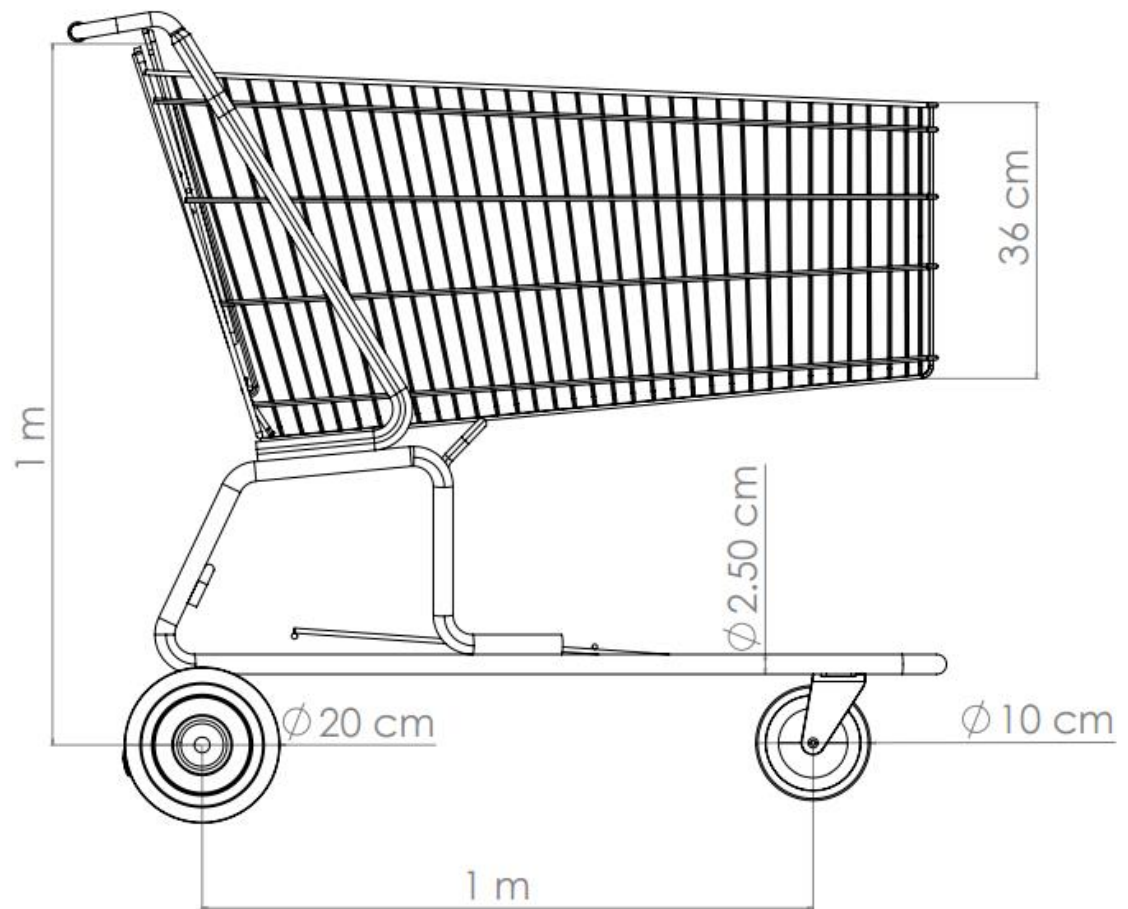
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Canasta	1
2	Motores	1
3	LLantas	4
4	Rejilla	1
5	Chasis	1

Carrito de Compras Vistas

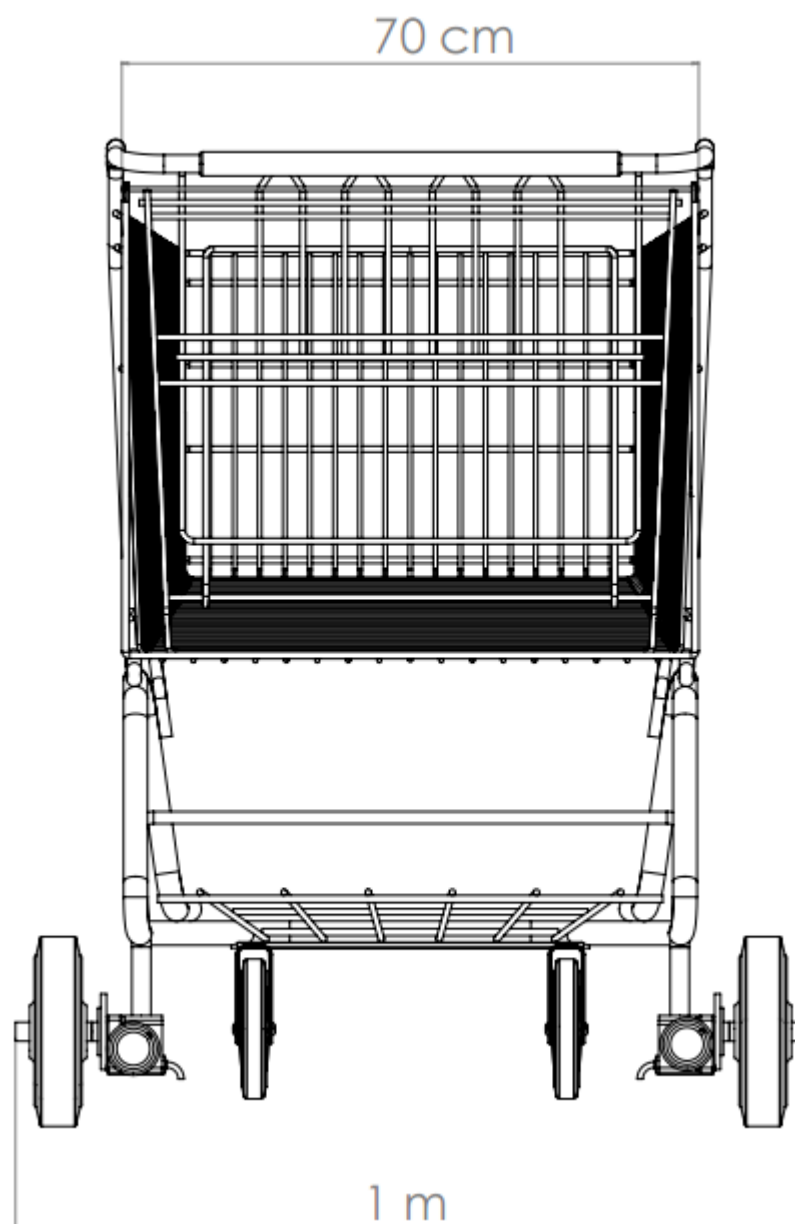


Carrito de Compras

Vista Lateral

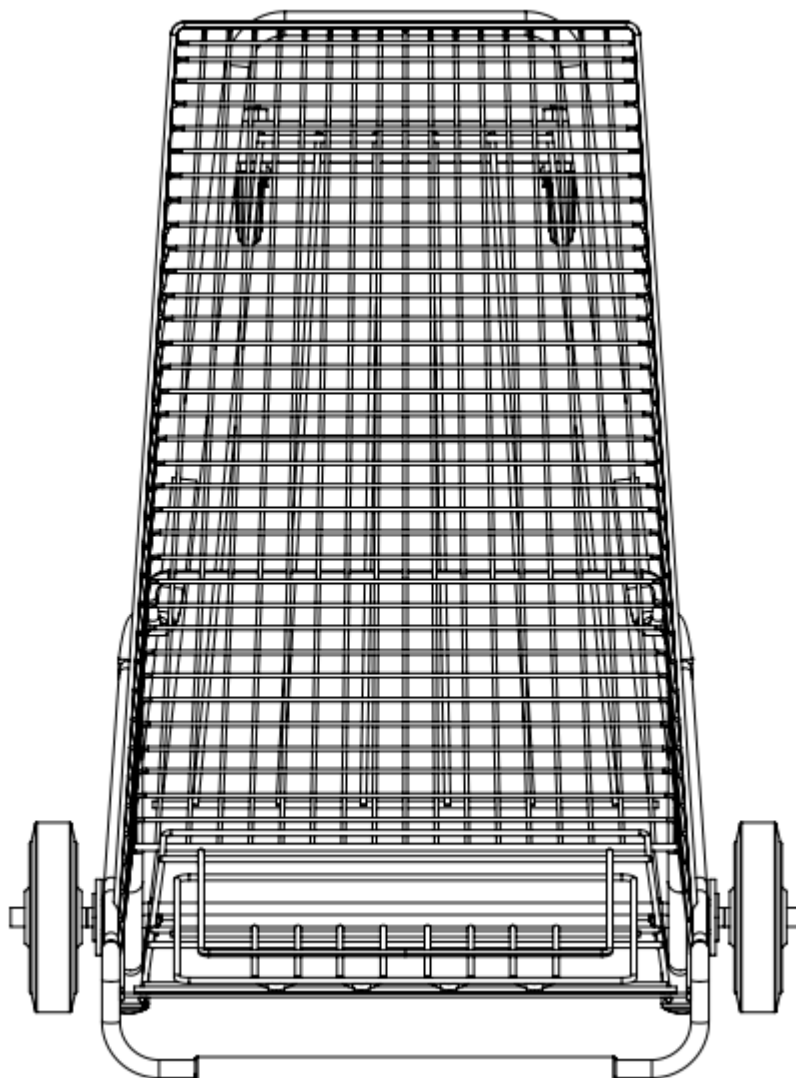


Carrito de Compras Vista Trasera

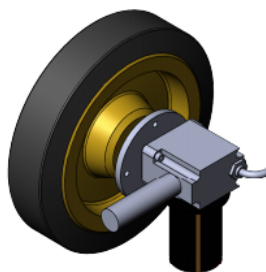
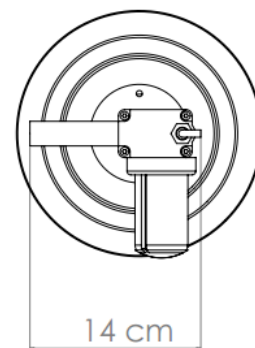
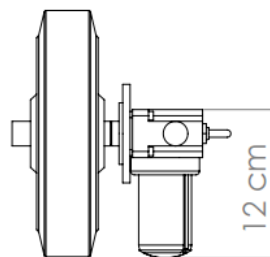
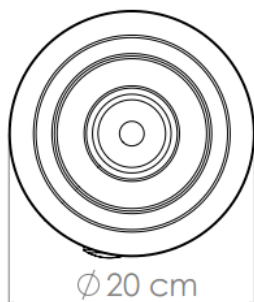


Carrito de Compras

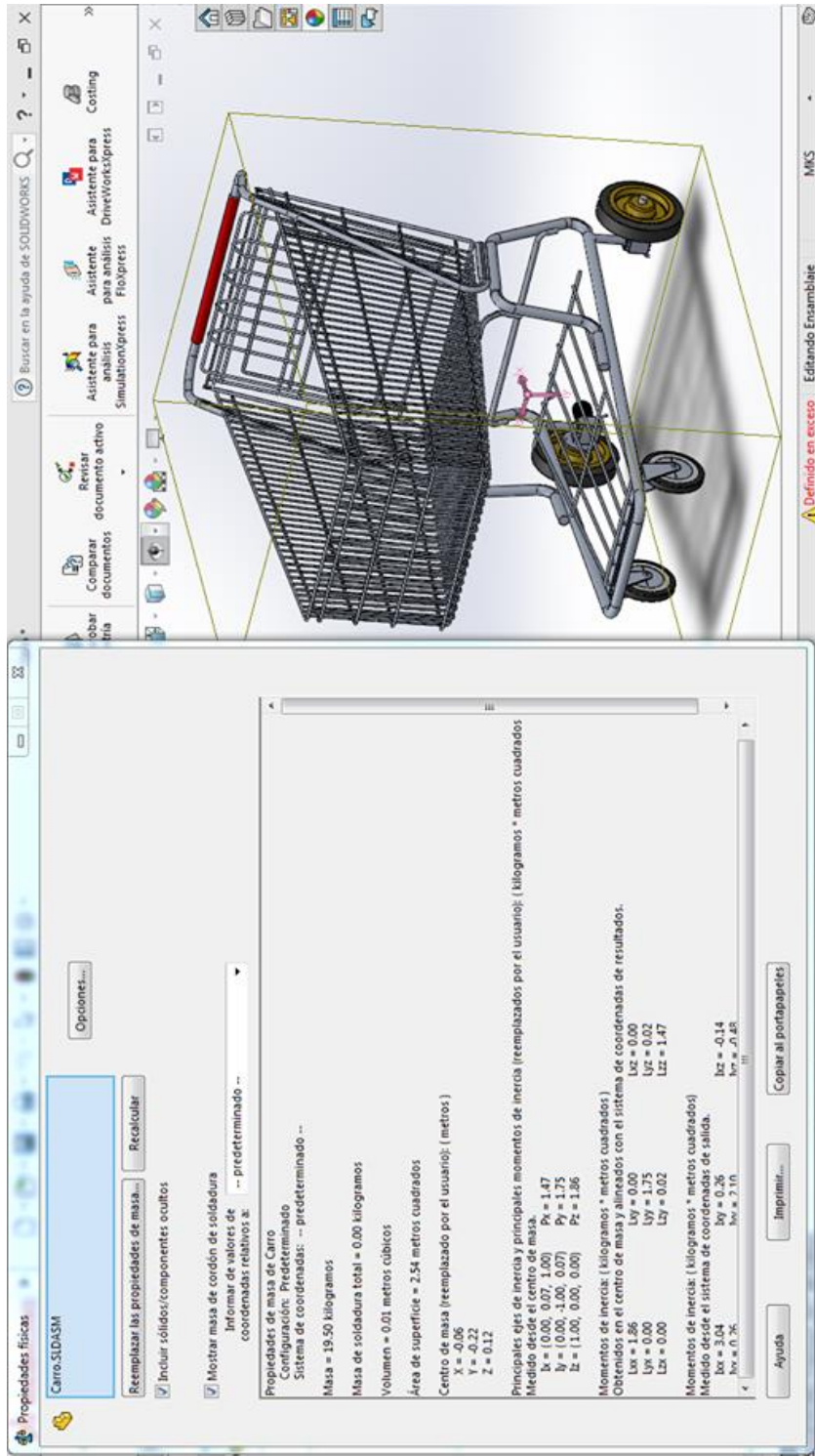
Vista Superior



Carrito de Comparas LLanta Motor



ANEXO E. PROPIEDADES CARRO DE MERCADO SOLIDWORKS



ANEXO F. PRUEBA CURVATURA CARRO DE MERCADO SOLIDWORK

